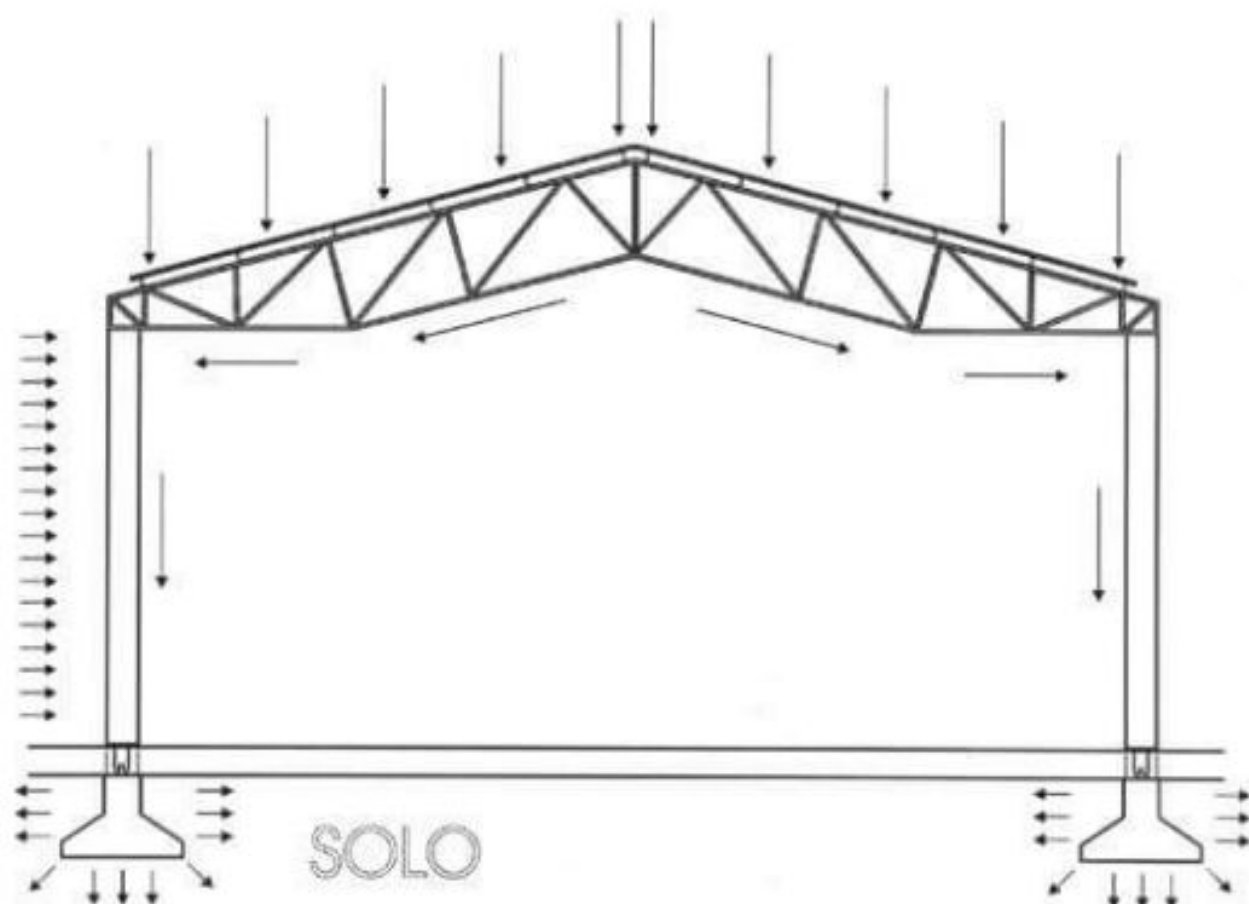
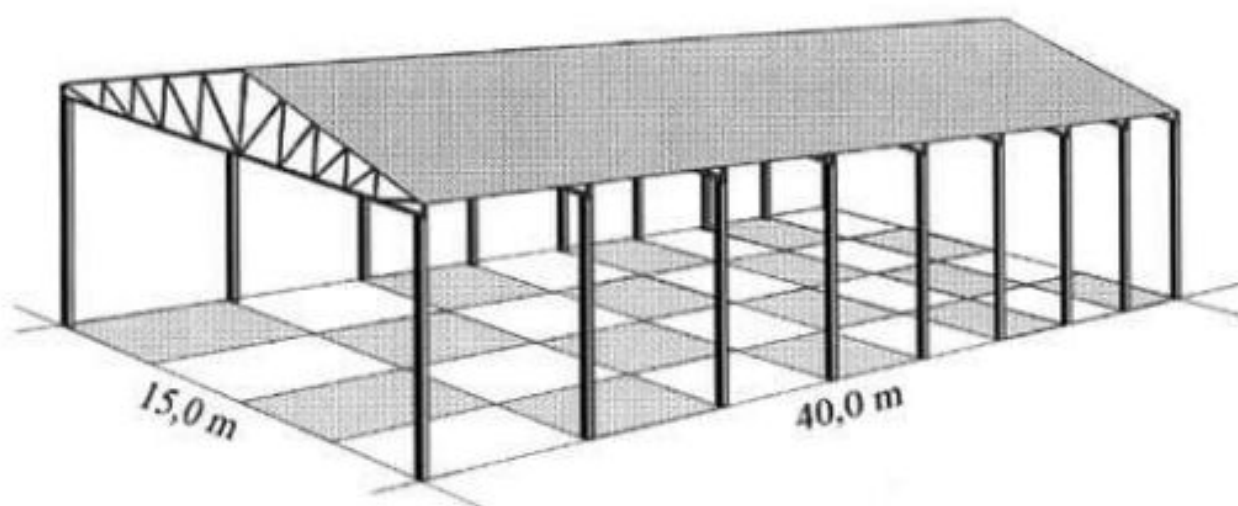
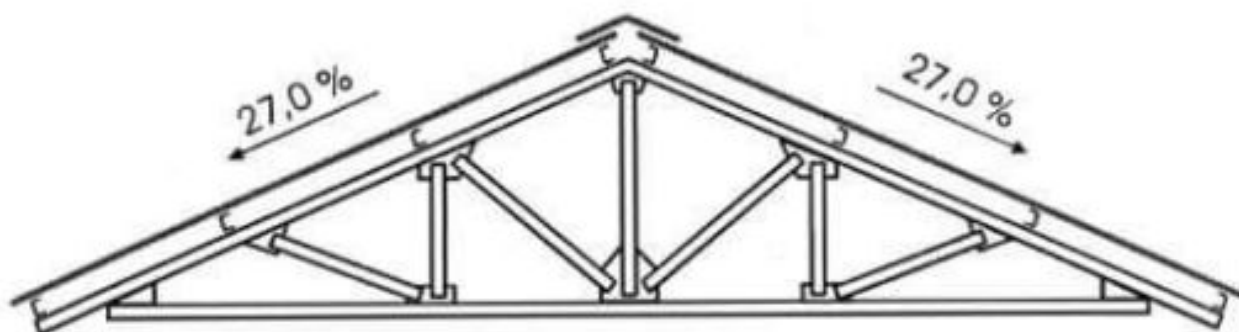
CÁLCULOS DE

ESTRUTURAS METÁLICAS

O Tamanho do Galpão

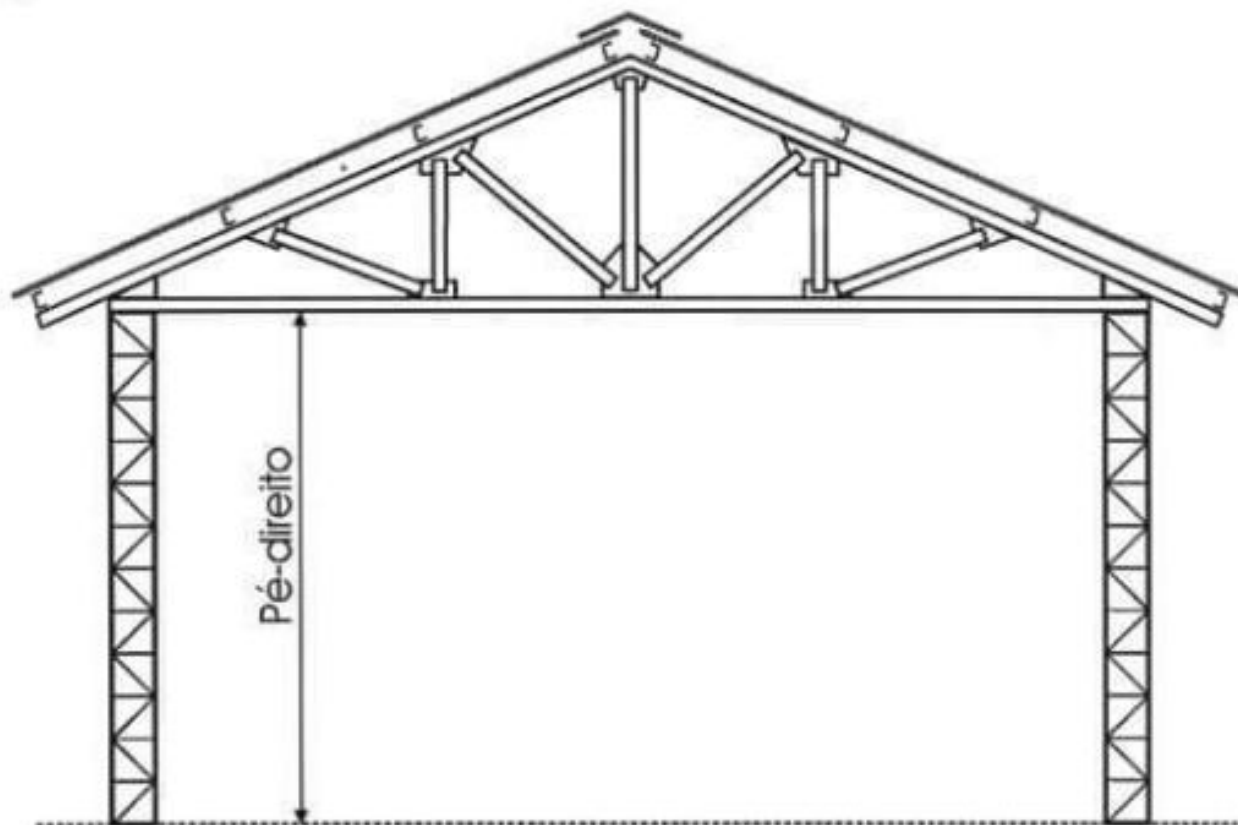
Este álbum tem por objetivo mostrar, passo a passo, como se calcula um galpão em estrutura metálica, indo desde sua fundação até a cobertura.

Tomaremos como exemplo, um galpão de 15m x 40m (15 metros de largura por 40 metros de comprimento) e um pé-direito de 6 m.

A área total deste galpão será de 600m² que é o produto da multiplicação da largura pelo comprimento (15 x 40 = 600).

Utilizaremos neste Galpão a telha galvanizada trapezoidal. Para a estrutura metálica usaremos o aço MR-250.

A inclinação do telhado é de 27% (vinte e sete por cento) ou 15,11° (quinze ponto onze graus). Esta inclinação pode variar de acordo com o tipo de telha escolhido ou mesmo de acordo com o projeto arquitetônico a ser seguido.

Tesoura ilustrativa

Noções básicas

Pé-direito: É a altura que vai do piso até a parte mais baixa da tesoura ou, caso possua forro, até a parte inferior do forro, ou seja, é a altura livre que o galpão possuirá.

MR-250: É o tipo do aço a ser utilizado. Existem outros tipos de aço no mercado, mas para a fabricação de perfis, o ***MR-250*** é o muito comum.

Telha trapezoidal: Possui este nome porque tem o formato semelhante ao de trapézios, como mostra o desenho abaixo:

Exemplo de telha trapezoidal
(Neste galpão ela será em aço galvanizado)

OS PERFIS:

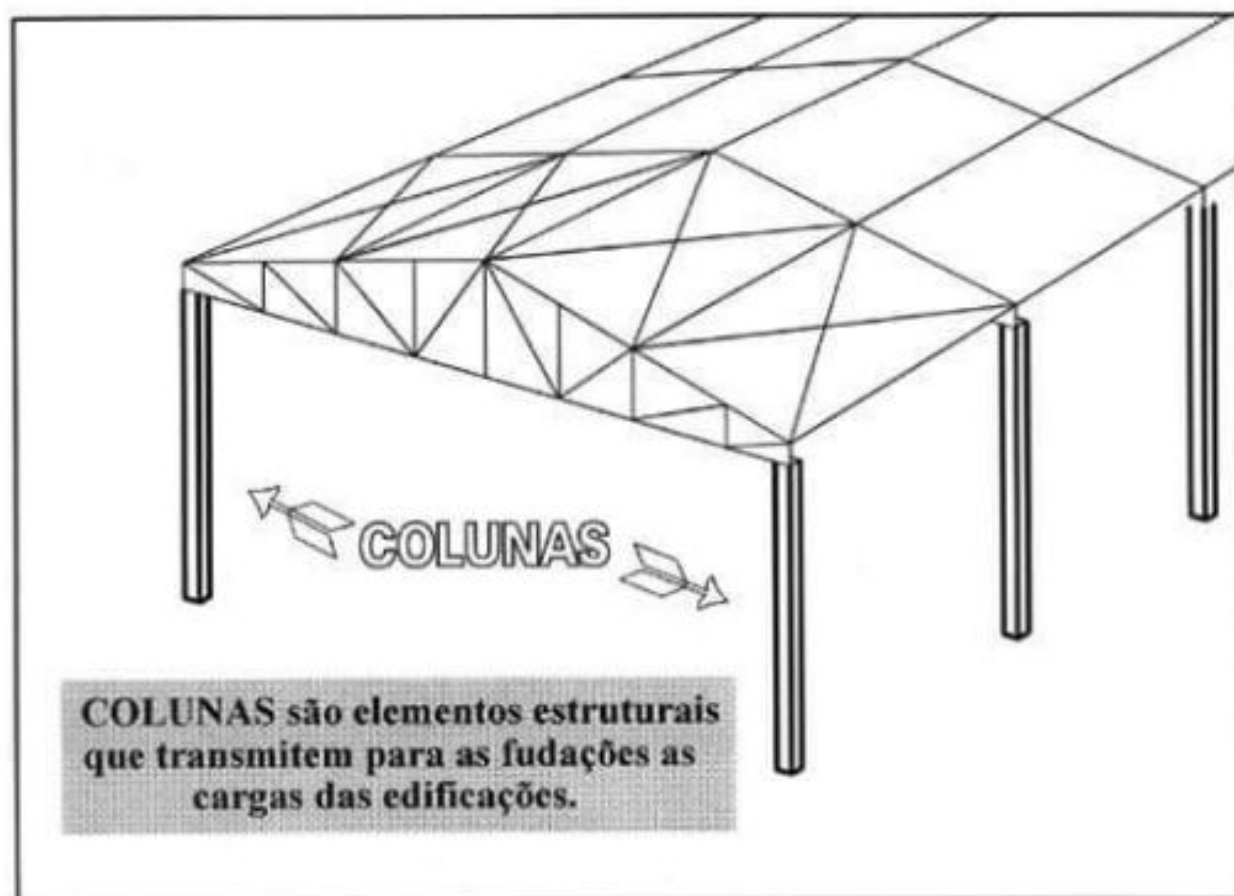
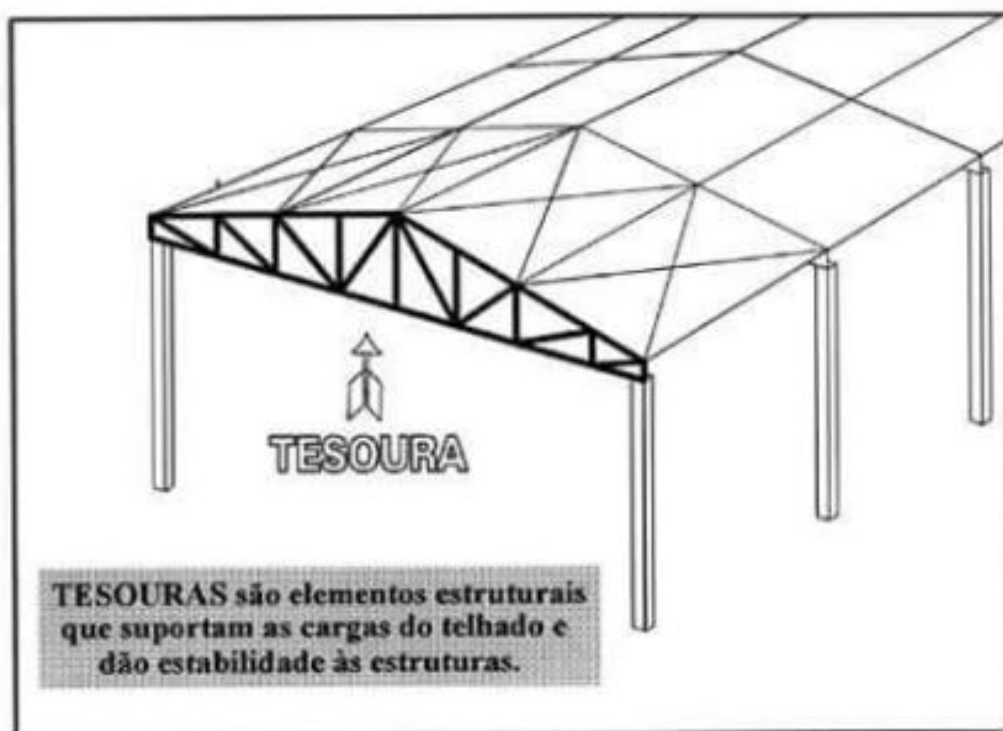
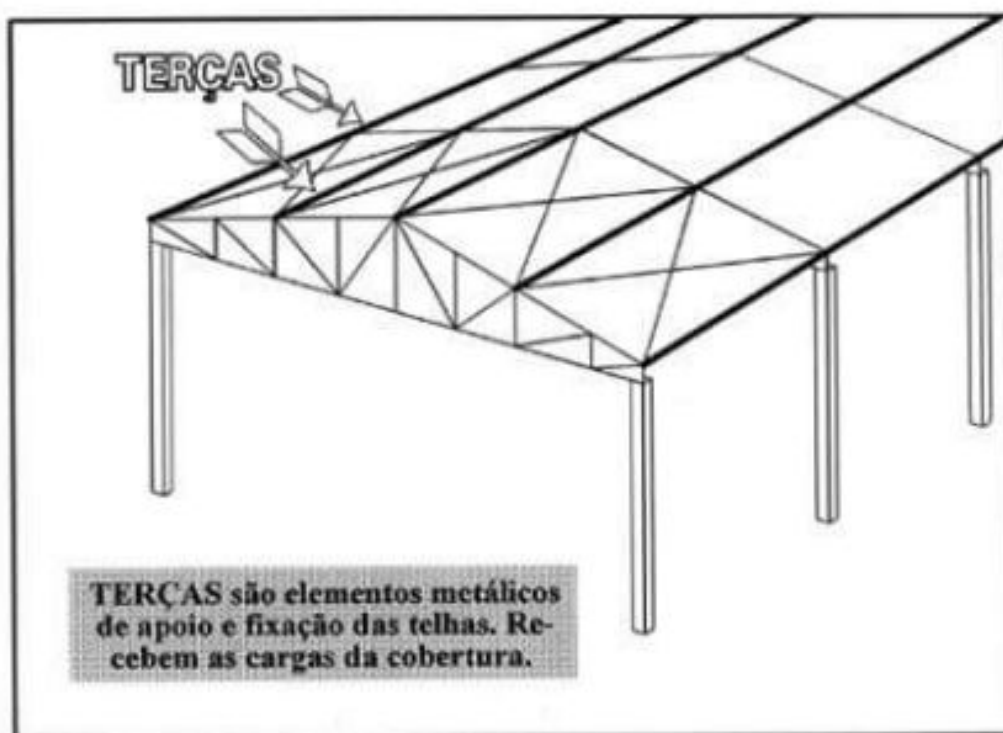
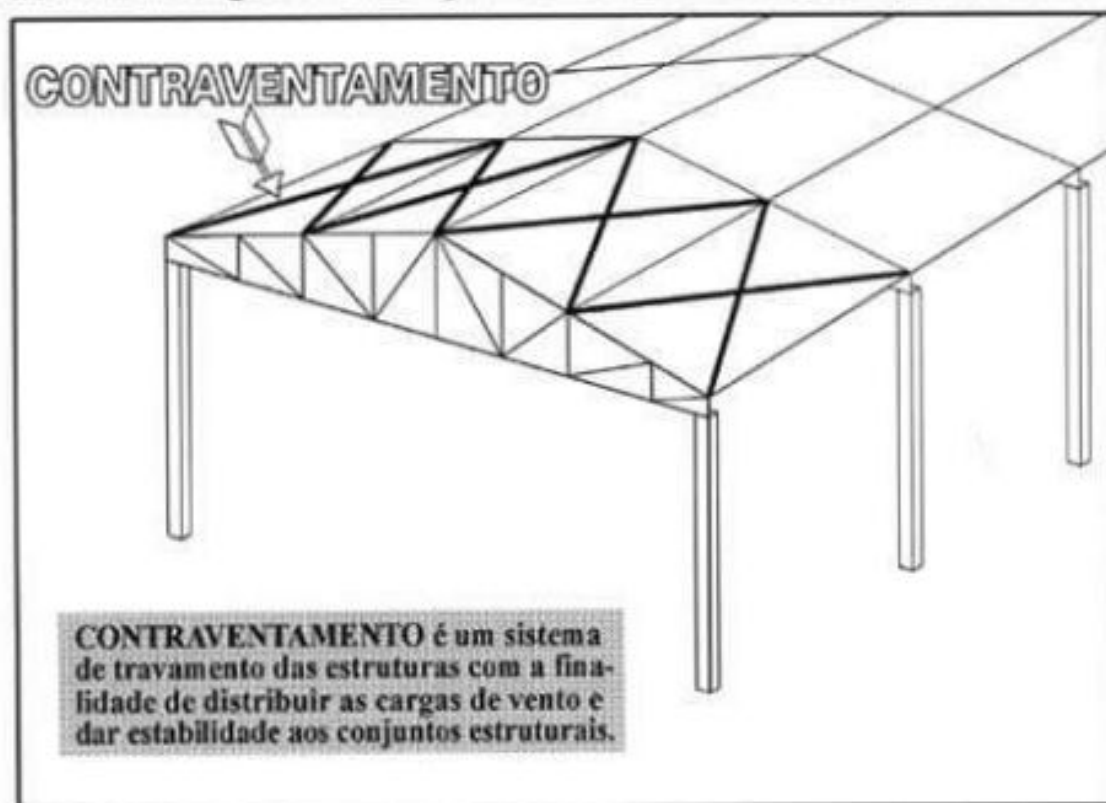
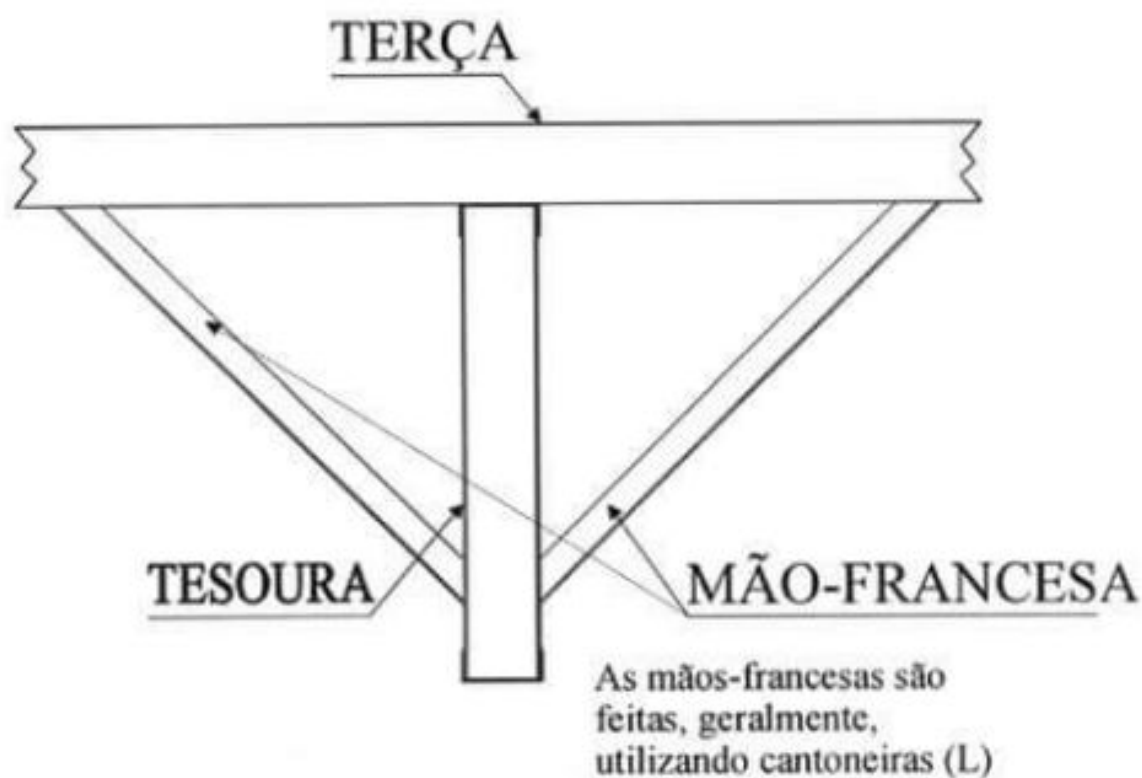
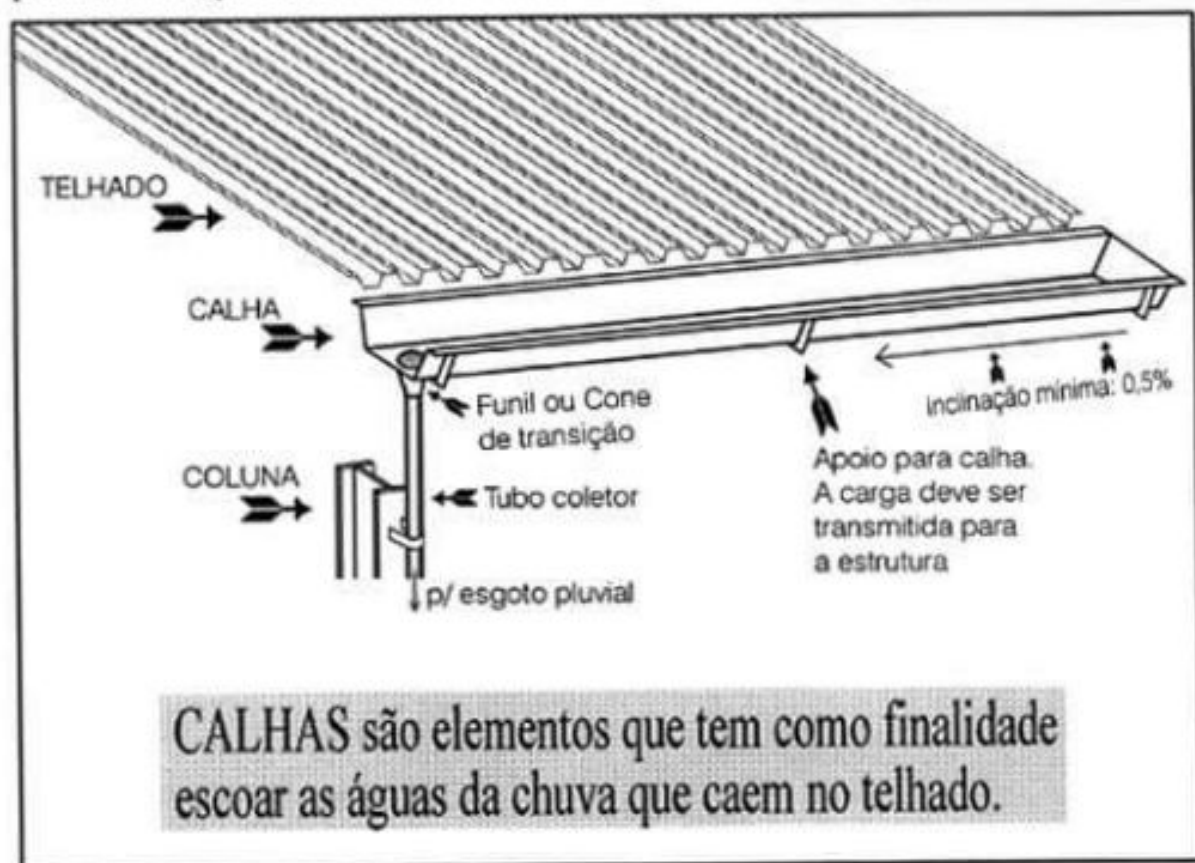
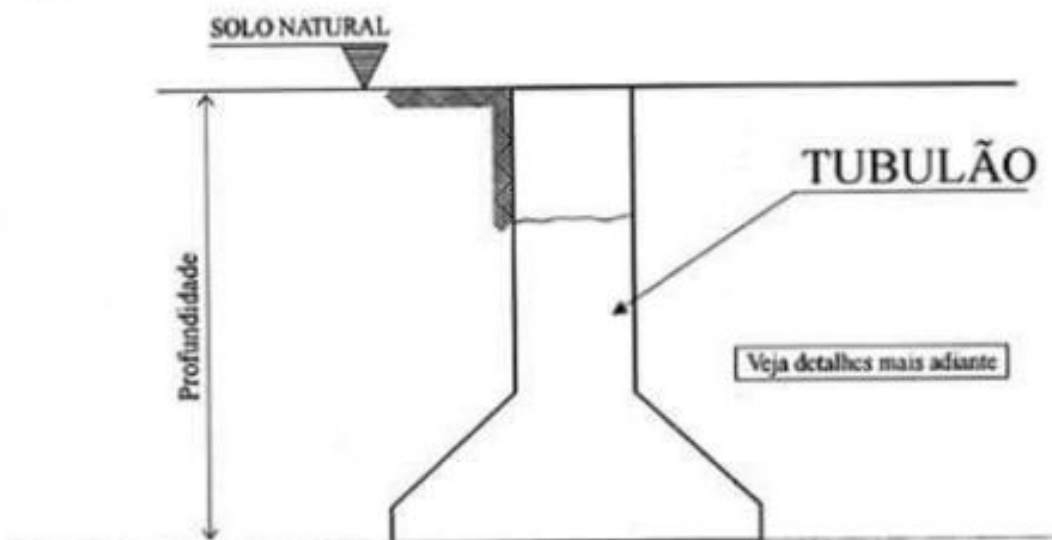
Existem inúmeros tipos de perfis no mercado, sejam eles dobrados, laminados, usinados, etc.

No nosso caso, utilizaremos apenas perfis dobrados para as estruturas, chapas lisas e ferros redondos lisos para o contraventamento e a chumbação do pilar na fundação.

Os perfis utilizados neste galpão são:

- Perfil U enrijecido, representado pela letra C.
- Tubo fechado, formado por dois perfis C.
- Chapa lisa.
- Ferro redondo, representado pela letra ø.

CONHECENDO AS PEÇAS QUE COMPÕEM A ESTRUTURA METÁLICA

Pilares ou colunas: são elementos estruturais que têm a finalidade de transmitir as cargas vindas das edificações para as fundações, ou seja, transferem para a fundação todas as cargas vindas do restante da estrutura.

Tesouras ou treliças: são elementos estruturais que suportam as cargas do telhado e dão estabilidade às estruturas. São conhecidas também como Vigas de Cobertura. São elas que firmam as terças e transferem suas cargas para os pilares.

Terças: são elementos metálicos de apoio e fixação das telhas. Recebem todas as cargas vindas da cobertura.

Contraventamento: é um sistema de travamento das estruturas com a finalidade de distribuir as cargas de vento e garantir a estabilidade dos conjuntos estruturais.

Mão-francesa: É um sistema de travamento da terça com o objetivo de conter sua deformação.

Calha: **É uma chapa metálica fina, dobrada e colocada de forma que poss a escoar a água da chuva que desce através das telhas, impedindo assim que esta água caia pelas laterais, podendo ser direcionada a um ponto determinado.**

Fundação: A fundação é parte essencial em qualquer edificação, pois é ela que transmite as cargas vindas de toda a estrutura para o terreno. No caso do nosso galpão, utilizaremos o sistema de tubulões. Existem também fundações com sapatas, estacas, etc.

Telhas: As telhas são os elementos que protegem toda a estrutura da chuva, sol e outros fenomenos da natureza que poderiam danificar a mesma, causando-lhe ferrugens e outros danos. No Galpão que vamos calcular, utilizaremos a telha trapezoidal de aço galvanizado.

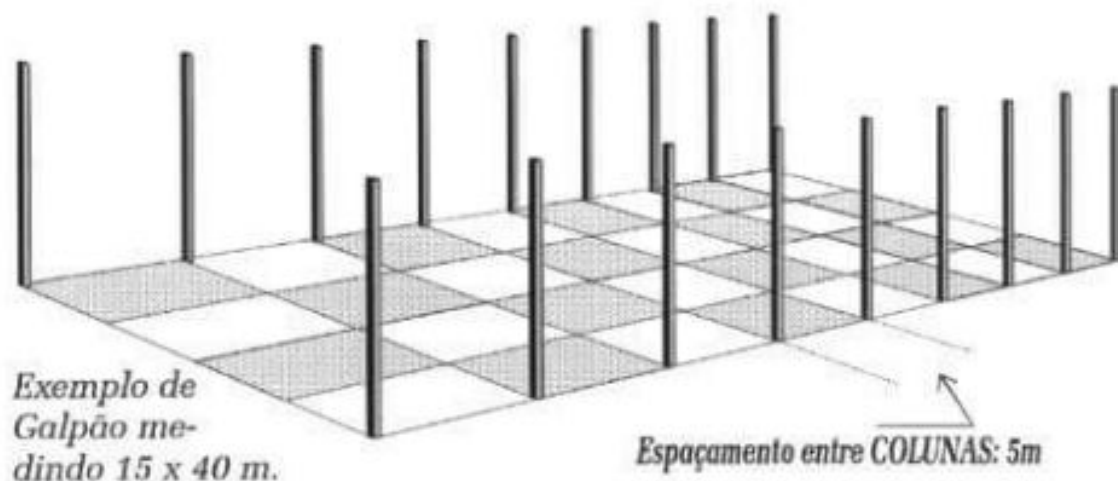
TELHAS são elementos que compõem a cobertura protegendo o conjunto estrutural das intempéries.
Nome técnico: Chapas de Cobertura

Os principais tipos de TELHAS são fabricados dos seguintes materiais: aço galvanizado, que pode ser com ou sem pintura. Alumínio, também com ou sem pintura. Fibrocimento, seção ondulada e canaleta. PVC e fibra de vidro, com as quais são feitas as TELHAS translúcidas (para iluminação natural) e ainda as TELHAS SANDUÍCHE, com função termo-acústica, proporcionando conforto com a redução de ruídos e barrando temperaturas extremas.

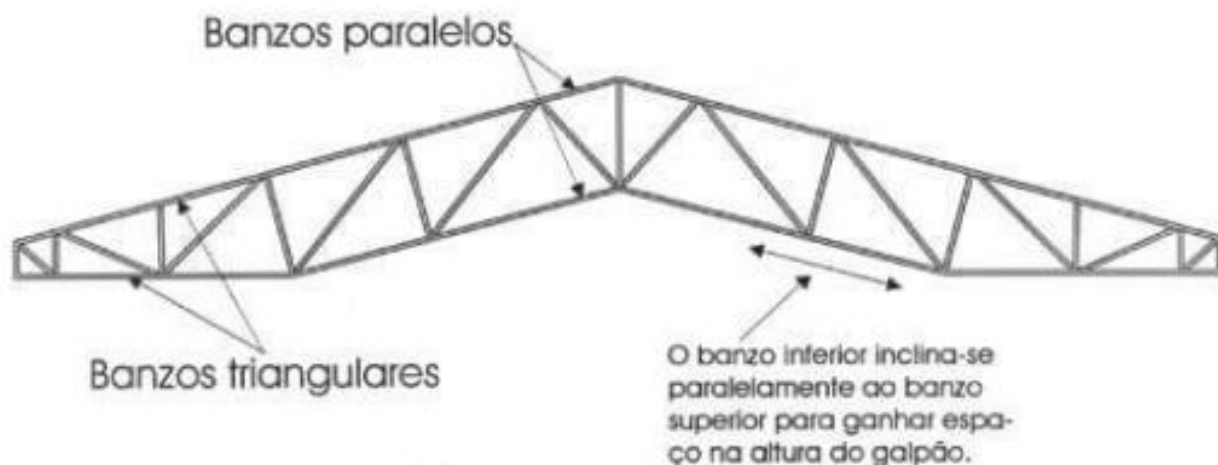
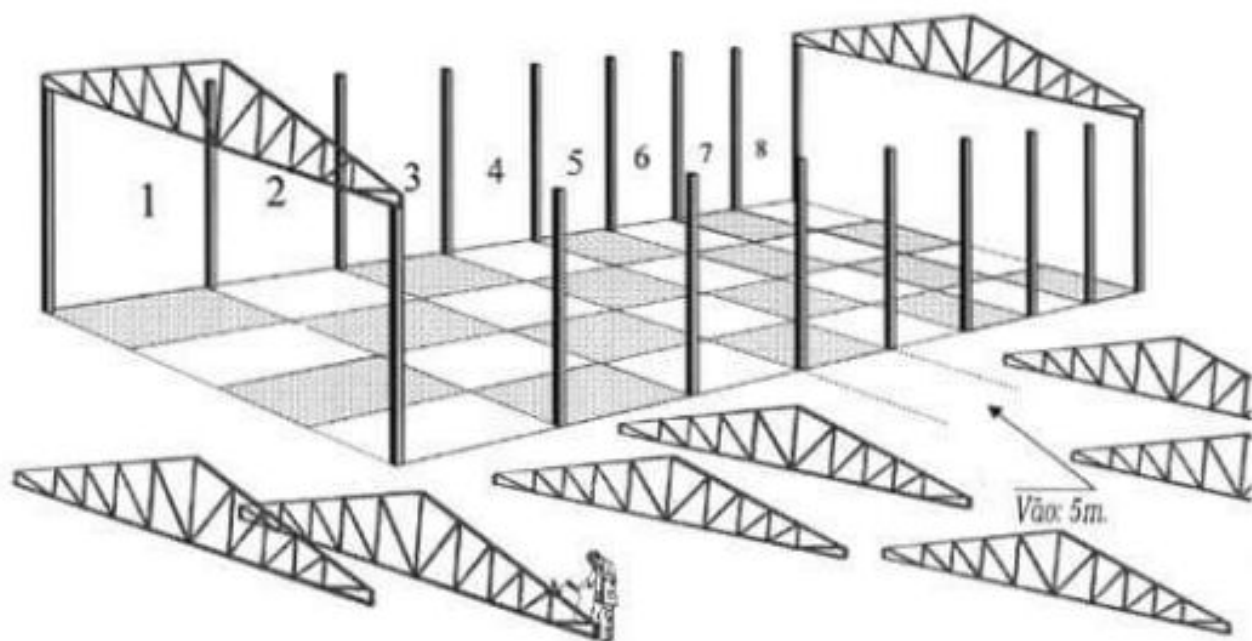
SOLDA ELÉTRICA

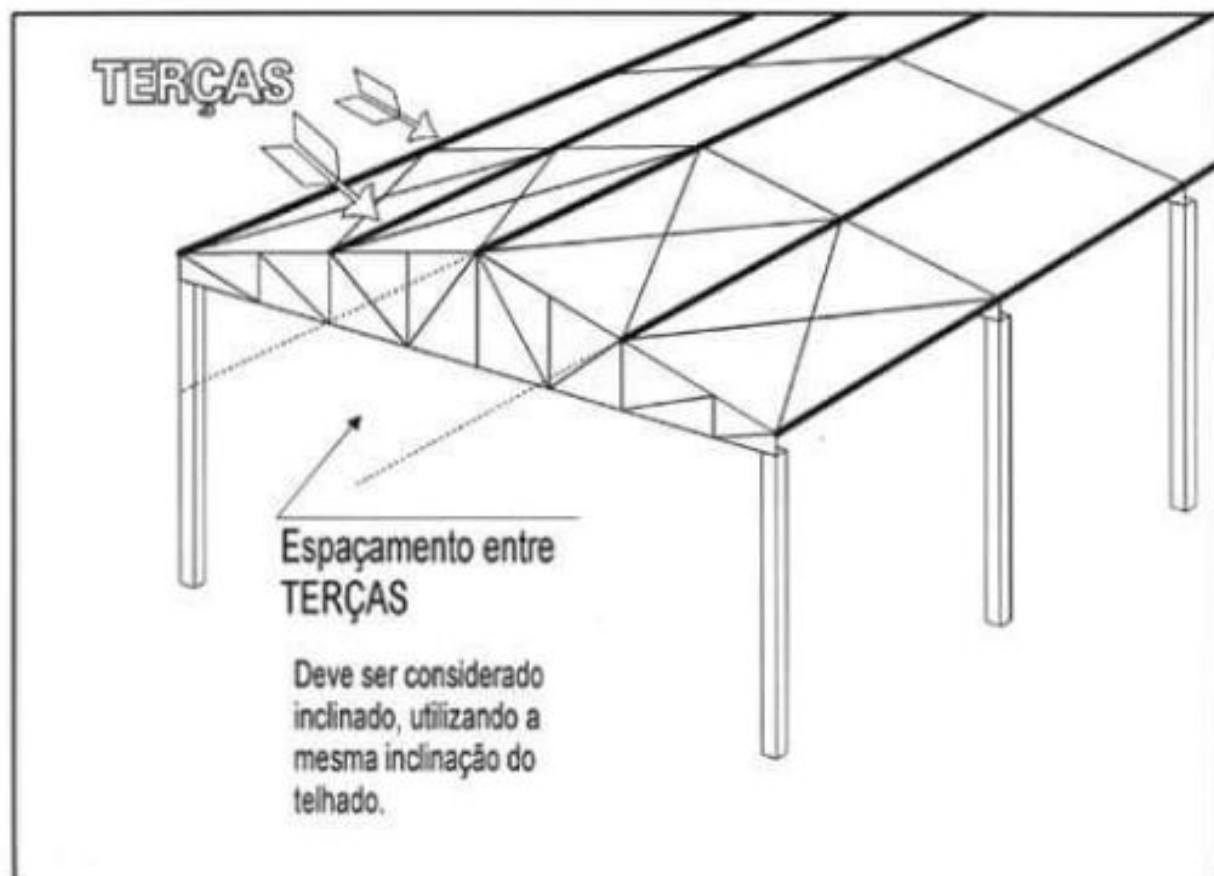
A **soldagem**, sendo um processo metalúrgico de unir peças metálicas, é feita por fusão. As partes a serem soldadas são fundidas e, nesse estado, com a adição dos elementos químicos dos eletrodos, são ligadas por solda. A **solda** por arco elétrico, que é o principal usado em perfis estruturais, se explica assim: forma-se um arco voltaico entre a peça e o eletrodo e o material base é aquecido a uma temperatura em torno de 4.000°C, de modo que as bordas se fundam. Ao mesmo tempo a ponta do eletrodo se funde sobre o material base, misturando-se com ele para preencher a junta de soldagem.

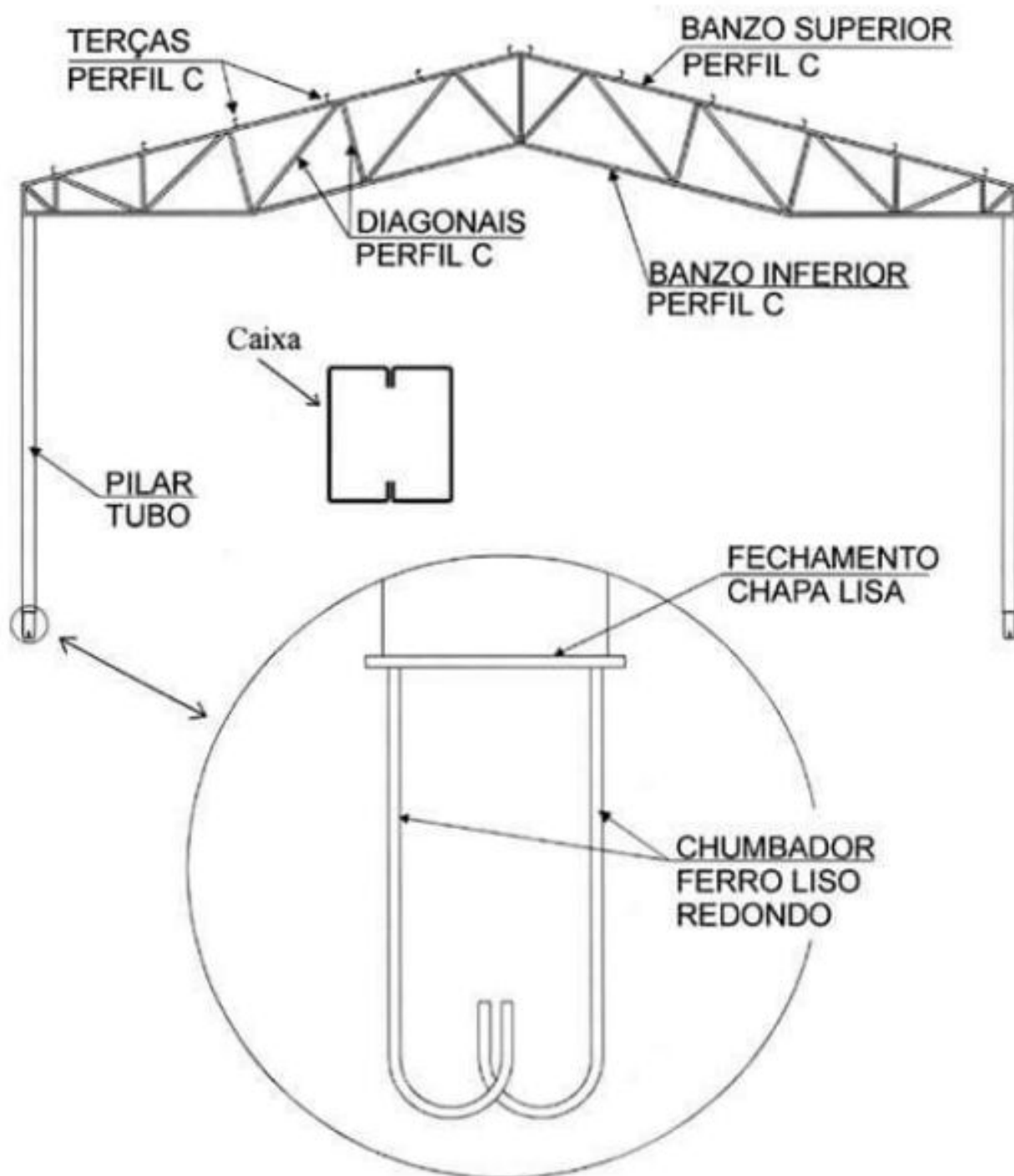
INICIANDO O DIMENSIONAMENTO DO GALPÃO

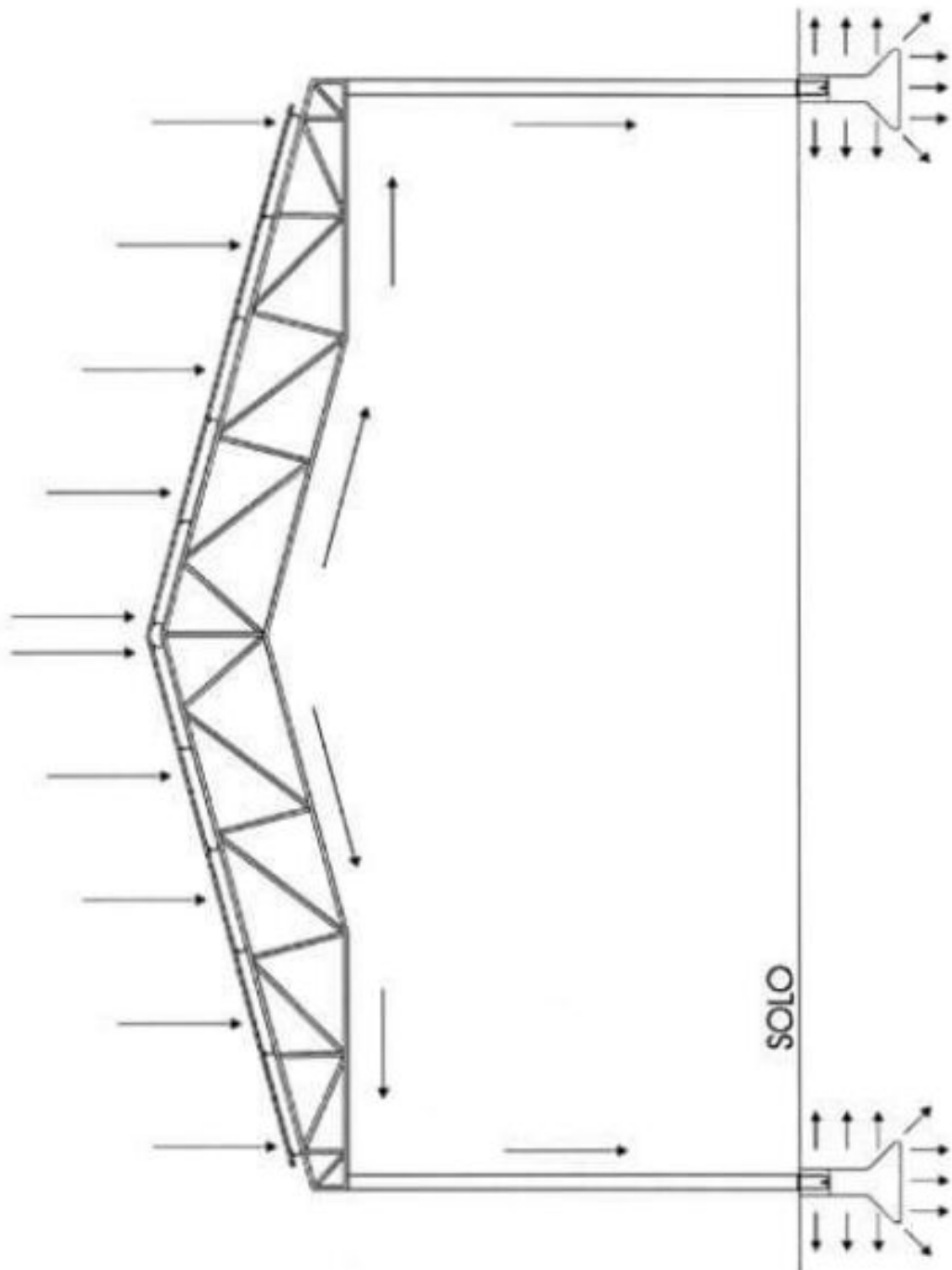
Como o Galpão proposto para cálculo neste manual é de médio porte (15m x 40m), o espaçamento entre COLUNAS pode ser de 5 m., sendo que as tesouras, que apoiarão nas COLUNAS, ficarão também 5 metros eqüidistantes.

Em Galpões pequenos e médios, o espaçamento entre COLUNAS deve ficar entre 4 e 6 metros.

O FORMATO DAS TESOURAS

Sendo um galpão retangular e simétrico, podemos colocar todas as tesouras iguais. Isto facilita o projeto e a execução da obra. Vamos calcular uma tesoura treliçada com parte em banzos paralelos e parte em banzos triangulares. A parte de banzos paralelos foi deixada tão apenas para que tenhamos maior altura no meio do galpão. Os cálculos serão explicados mais adiante, no detalhamento do projeto.

Tendo o Galpão 40m de comprimento e estando as tesouras e colunas 5m eqüidistantes, teremos 9 tesouras e 8 vãos

Espaçamento entre Terças

Para o espaçamento entre terças, podemos deixar, neste caso, 1,42m e 50 cm. nas extremidades para a colocação da calha.

UTILIZAÇÃO DOS PERFIS

Os perfis C serão utilizados nas tesouras, nas terças e nas colunas. No caso das colunas, os perfis C formarão caixa fechada. A chapa lisa será empregada na cabeça e nas bases das colunas, para o fechamento superior e inferior da caixa. O ferro redondo liso será utilizado nos contraventamentos echumbadores.

A ORIENTAÇÃO DOS CÁLCULOS

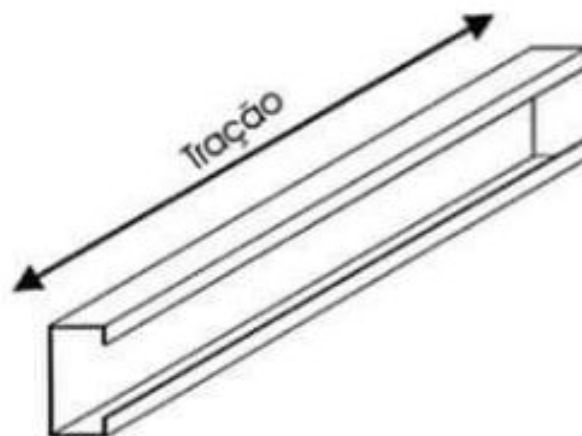
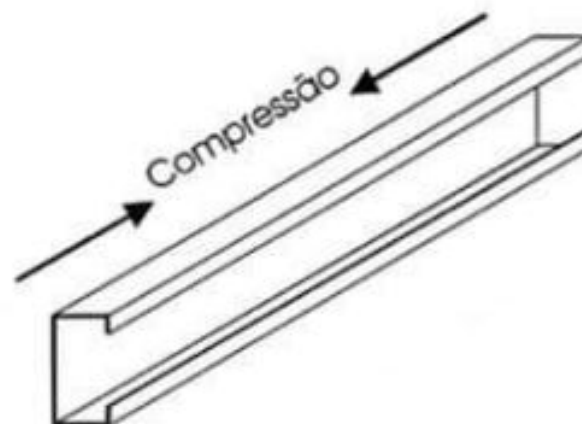
O cálculo de um galpão, como de qualquer outro edifício, deve ser realizado de cima para baixo, pois as cargas são transferidas dessa forma. Uma carga vem do telhado, passa para as tesouras, das tesouras para os colunas e das colunas para a fundação. Por isso, não podemos calcular uma fundação sem antes sabermos qual a carga virá de cima.

Definidos os perfis a serem utilizados, precisamos realizar o cálculo para sabermos a espessura de tais perfis.

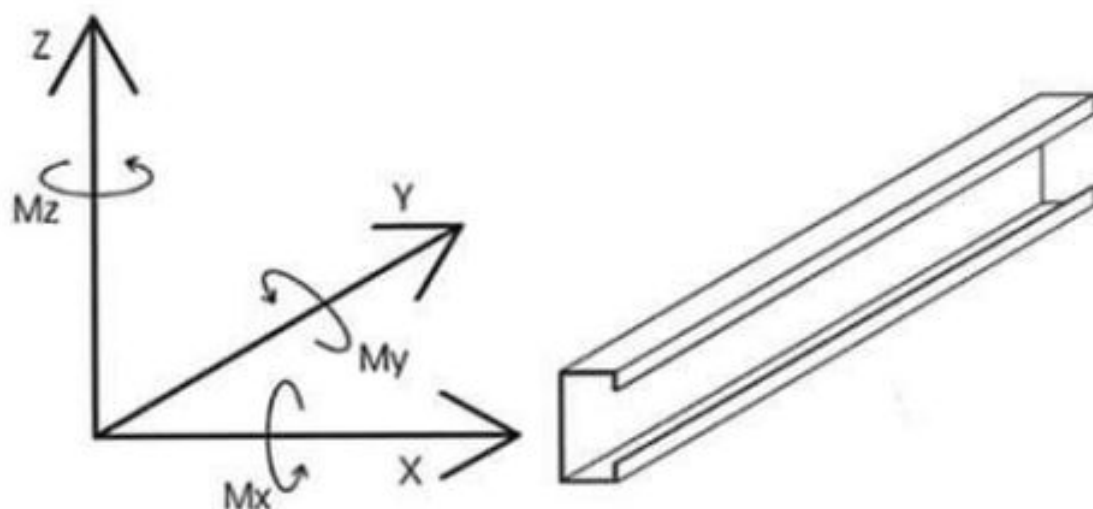
Para o cálculo do galpão, devemos considerar as seguintes cargas:

- Peso próprio;
- Sobrecargas;
- Vento.

As cargas acima, são formadas de vários tipos de elementos físicos. Vejamos alguns:

Força: é o produto da multiplicação entre massa e aceleração (F=m.a). Esta aceleração pode ter várias origens, mas aqui utilizaremos somente a aceleração da gravidade que é igual a 9,81 m/s².
A *força* é divida em duas partes:

Tração: É a força que se aplica no sentido do comprimento perfil e trabalha do centro para as extremidades.

Compressão: é a força que se aplica no sentido do comprimento pefil e trabalha ds extremidades para o centro.

Momento: é o produto da multiplicação entre força e distância (M=F.d)

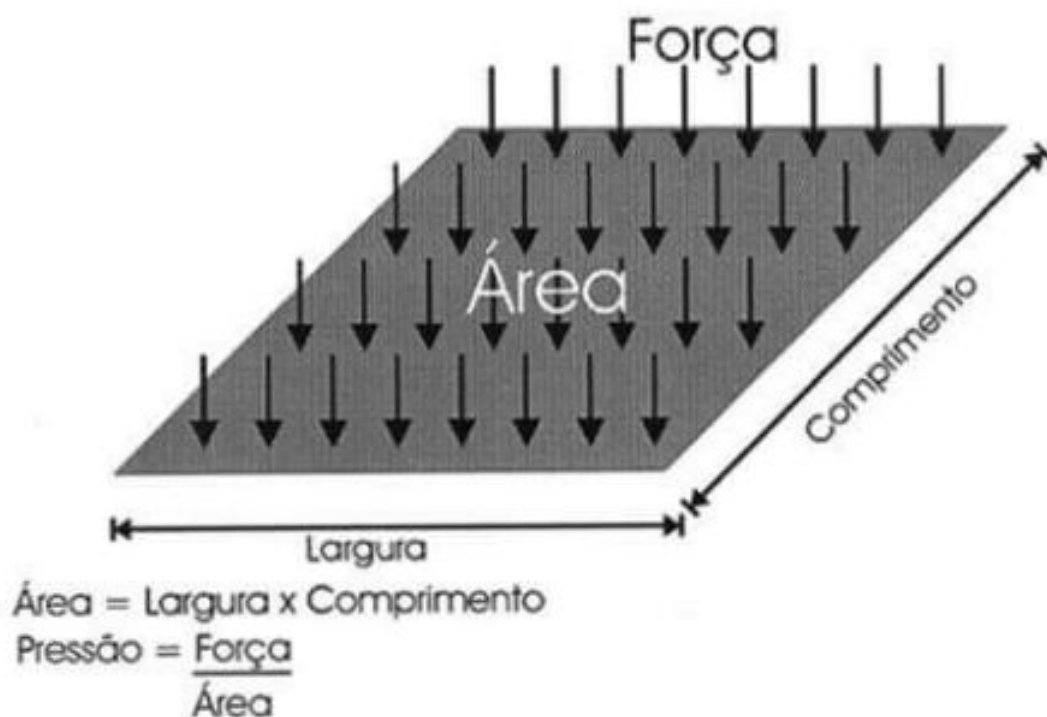
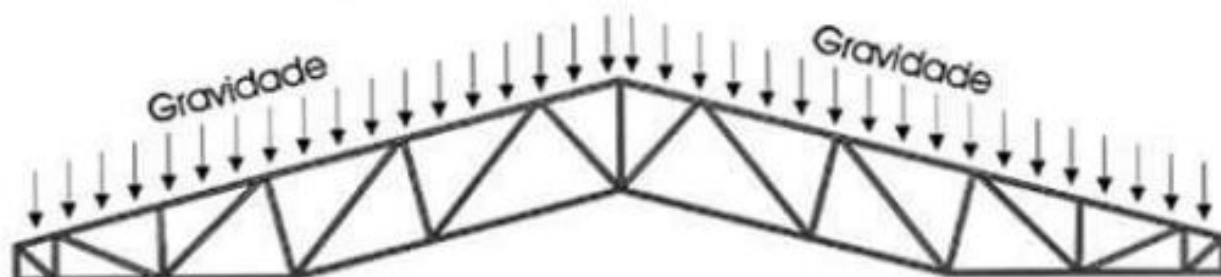
Esta força é aplicada geralmente em bases de coluna. No nosso caso ela será utilizada para o cálculo do coluna e da fundação.

Mx: é a força momento sobre o eixo X

My: é a força momento sobre o eixo Y

Mz: é a força momento sobre o eixo Z (momento "torção")

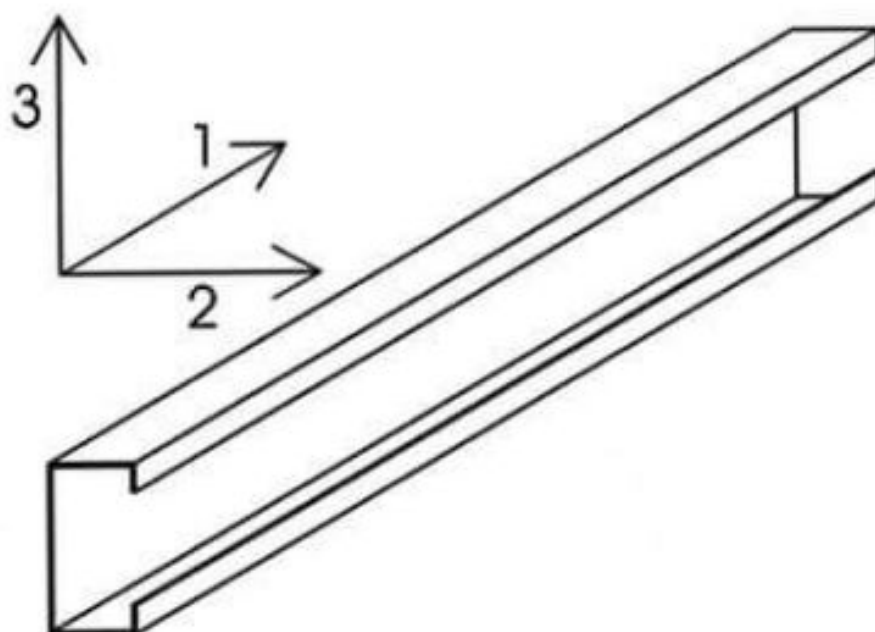
Pressão: É o resultado da divisão entre Força e Área. Esta força será aqui utilizada, para calcularmos as sobrecargas existentes no galpão.

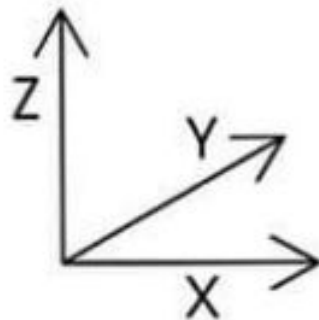
Área = Largura x Comprimento

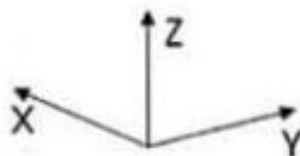
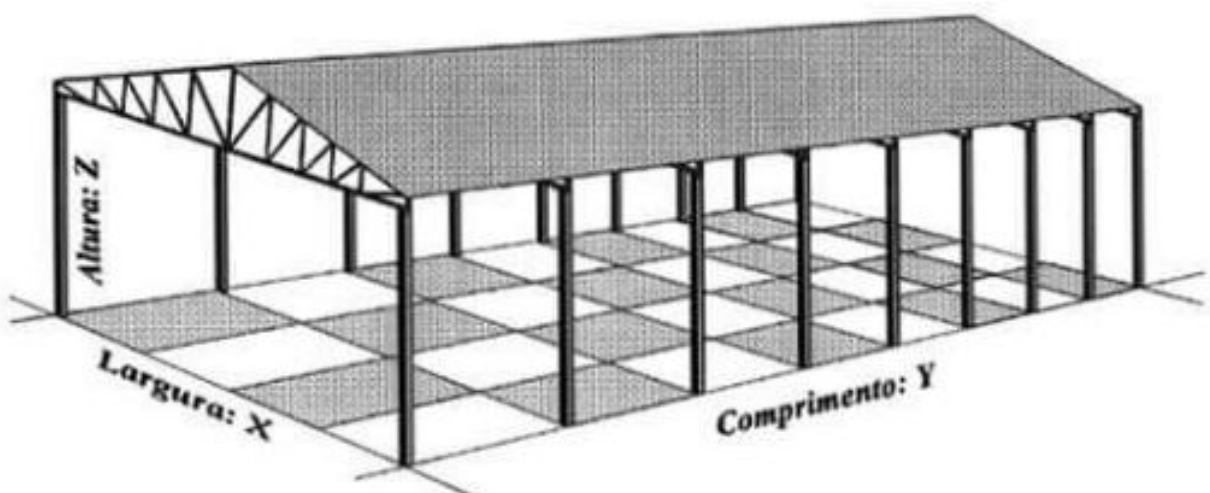
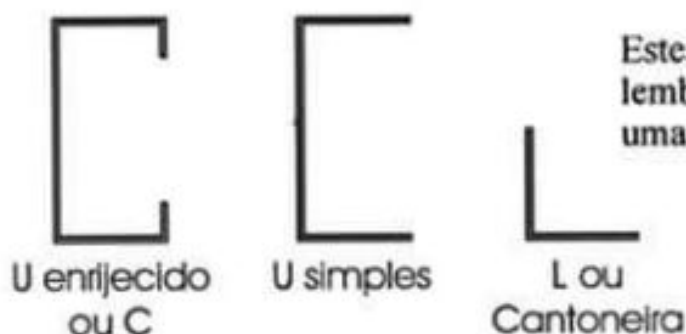
$$\text{Pressão} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}}$$

Peso: é o produto da multiplicação entre massa e a aceleração da gravidade. (P = m.g), lembrando que g = 9,81 m/s². Esta força deve sempre ser considerada nos cálculos.
A massa é variável de acordo com o material utilizado.

Peso = Massa x Gravidade

Consideradas as forças citadas, precisamos também saber o sentido de aplicação das mesmas (horizontalmente, verticalmente ou em um eixo local ao do perfil).

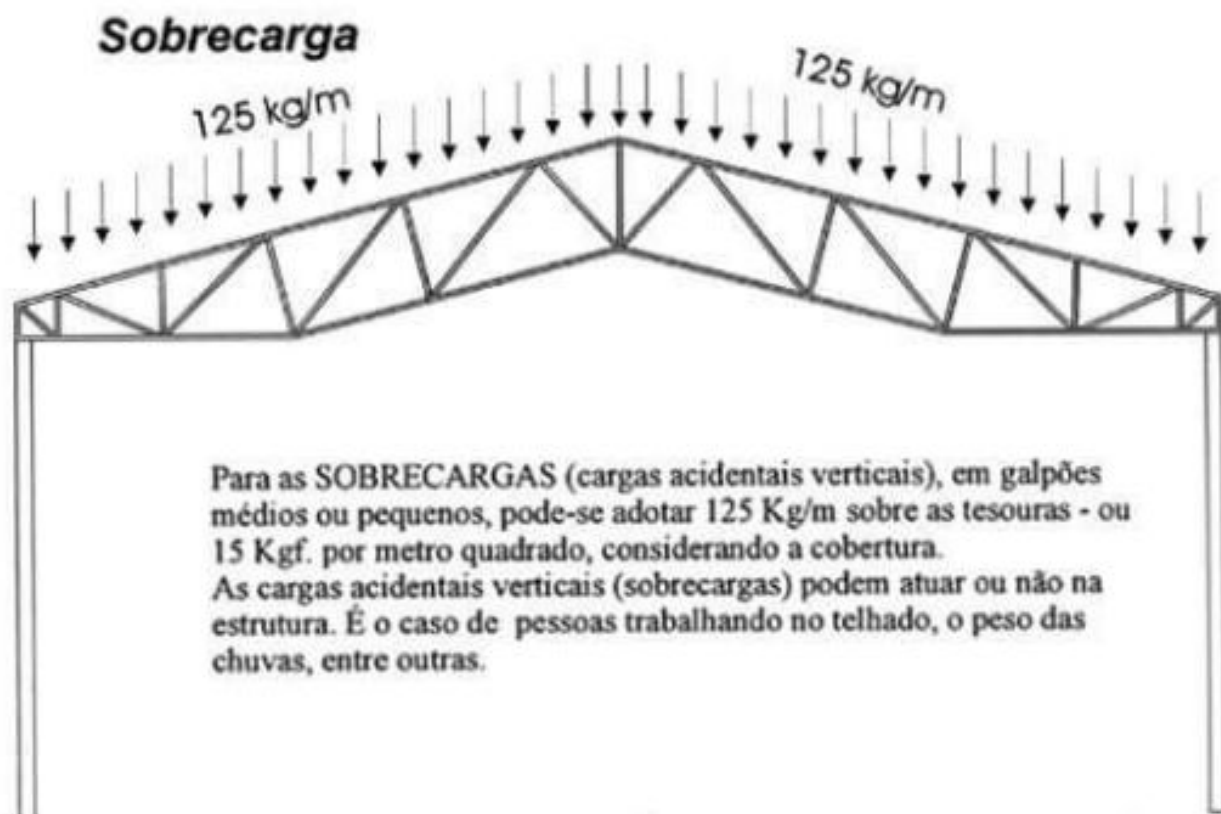
Eixos locais: São considerados de acordo com a colocação do perfil.

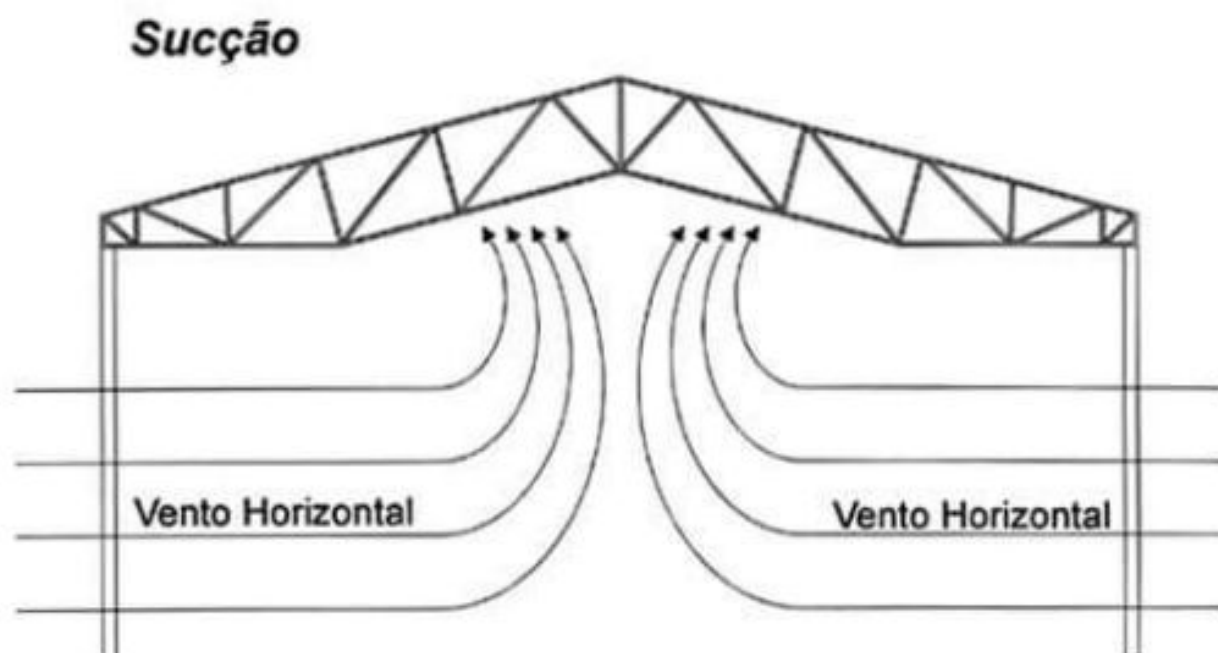
Eixo Local 1: É o eixo que existe ao longo do perfil.
Eixo local 2: É o eixo horizontal perpendicular ao eixo local 1.
Eixo local 3: É o eixo vertical perpendicular ao eixo local 1.

Eixos locais
(sua posição depende da forma que o perfil está colocado)

Além dos eixos locais, temos também os eixos globais que são aqueles fixos, independentemente da posição do perfil. São os eixos X, Y e Z. Tais eixos são os que formam o chamado plano carteziano, no caso específico deste galpão, vamos considerar o eixo X no sentido da largura, o eixo Y no sentido do comprimento e o eixo Z na altura.

Colocando esses eixos em relação à Terra, eles ficariam da seguinte forma:

Eixo X: É horizontal, no caso do nosso galpão, representa a largura do mesmo.
Eixo Y: Também horizontal, representando o comprimento do galpão.
Eixo Z: É vertical, representando a altura do galpão.

Peso próprio: é o peso da própria estrutura, de cada perfil e chapa utilizada. Este valor é obtido multiplicando o peso de cada peça da estrutura. Para sabermos o peso de um perfil, devemos multiplicar sua área de chapa por 0,785 que é um valor aproximado do peso específico do aço. (Esta parte será explicada mais a frente.)

Estes são exemplos de alguns perfis, lembrando que cada perfil possui uma massa diferente.

Sobrecargas: as chuvas, operários andando sobre a cobertura, pesos dependurados na estrutura, etc. são sobrecargas. Como não é preciso calcular o galpão como um todo, e sim apenas uma tesoura e repetir o seu cálculo para as demais, podemos aplicar esta carga linearmente nos banzos da tesoura. No caso deste galpão, vamos considerar uma sobrecarga de 125 kg/m.
Veja como ficará o lançamento da sobrecarga.

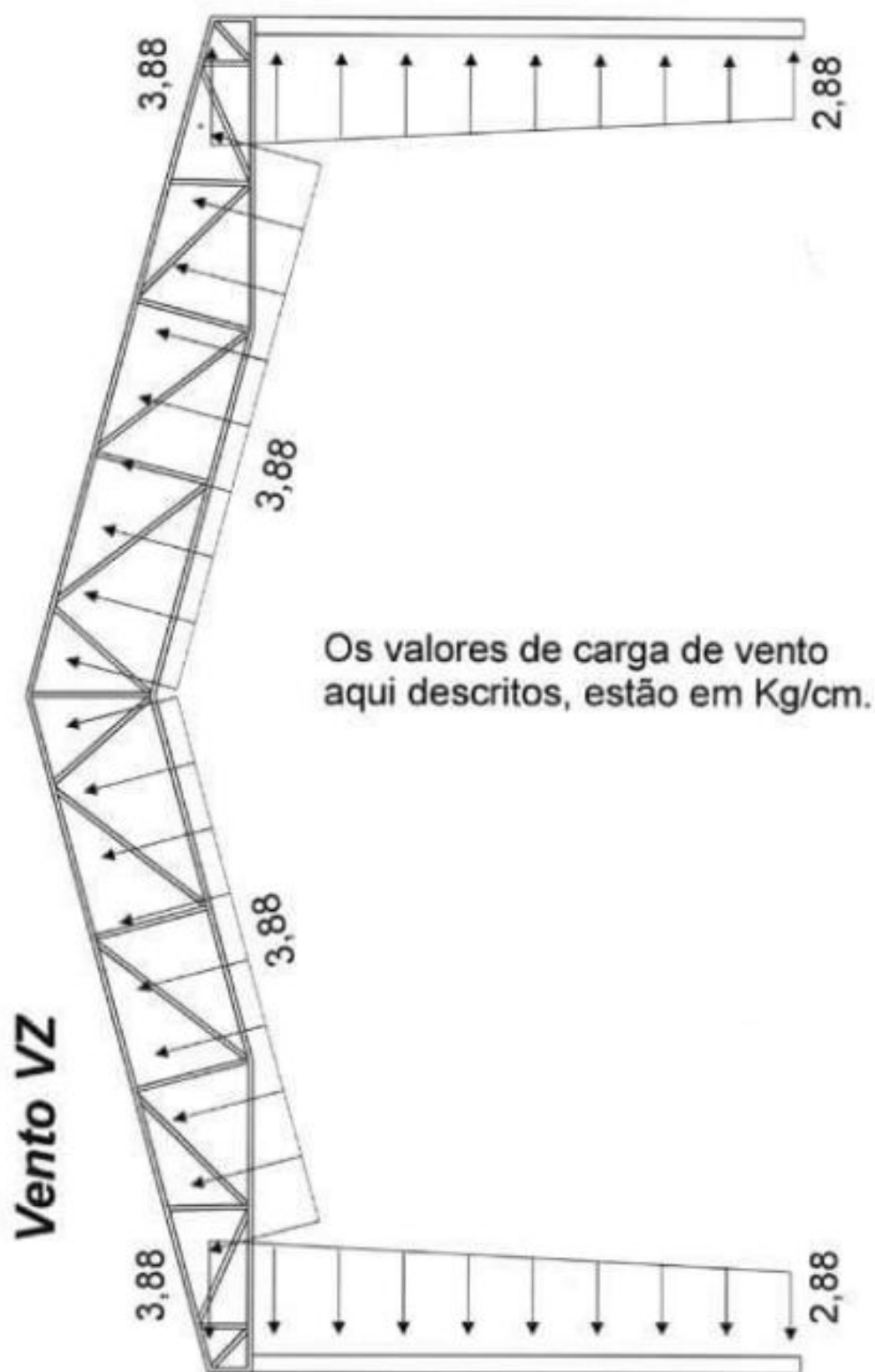
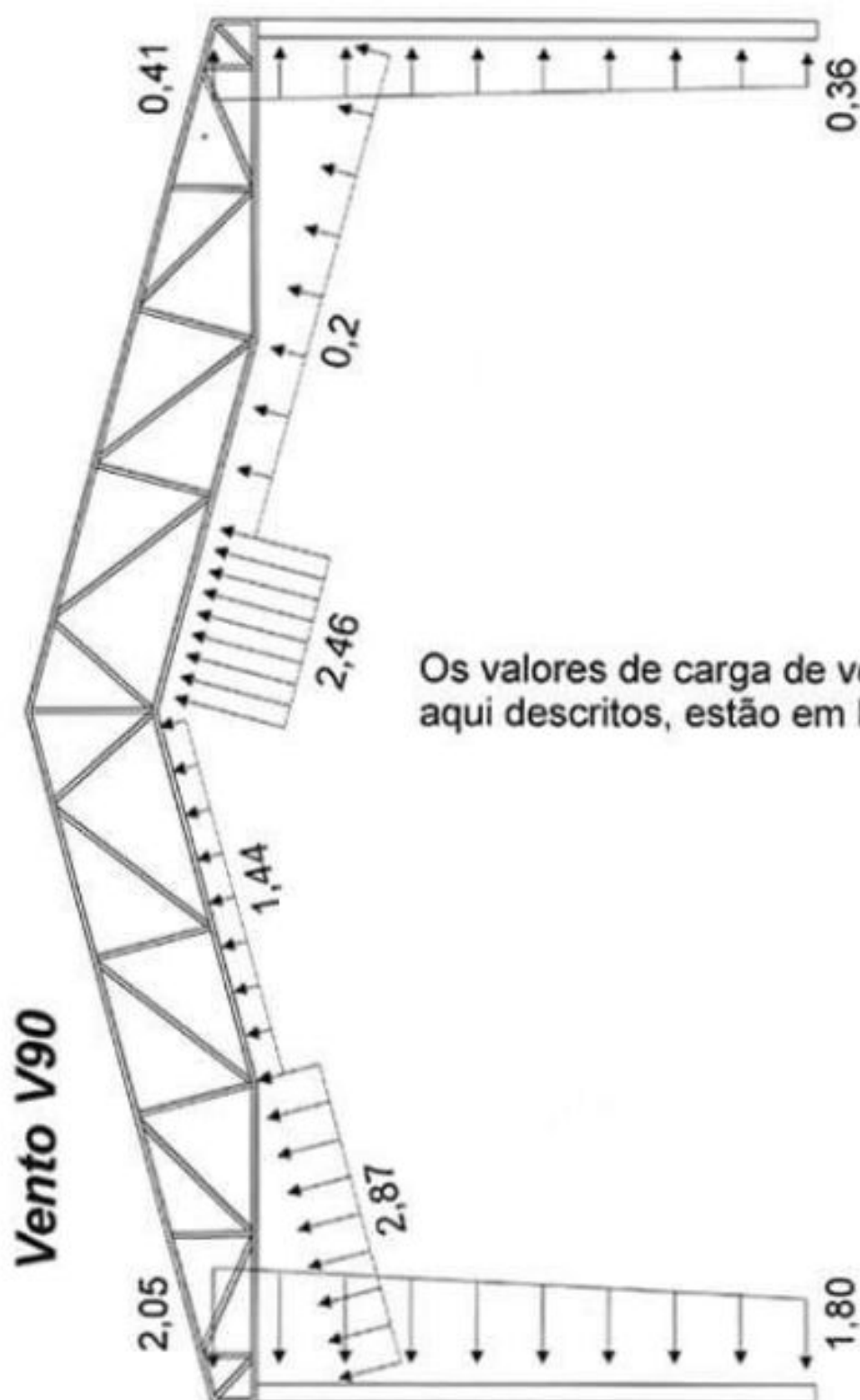
Para as SOBRECARGAS (cargas acidentais verticais), em galpões médios ou pequenos, pode-se adotar 125 Kg/m sobre as tesouras - ou 15 Kgf. por metro quadrado, considerando a cobertura.
As cargas acidentais verticais (sobrecargas) podem atuar ou não na estrutura. É o caso de pessoas trabalhando no telhado, o peso das chuvas, entre outras.

Vento: Como o próprio nome já diz, é a força que o vento exerce na estrutura. Para tal força, vamos considerar um valor de 50 kg/m². Como o vento é uma carga dinâmica, para cada parte da tesoura seu valor será diferente.
Como nosso galpão é um galpão aberto, a carga de ***sucção*** será maior do que nos galpões fechados. Em compensação, a carga de vento nas colunas será menor, diminuindo, assim, as forças do momento nos mesmos.

Sucção: É a força que o vento exerce na estrutura de baixo para cima. É como se o vento tentasse arrancar a estrutura do chão. O vento entra horizontalmente no galpão e faz uma curva para cima, empurrando as telhas que, por sua vez, puxam o restante da estrutura.

Consideramos para este galpão, dois tipos de ventos, os quais chamaremos de ***VZ*** e ***V90***.

O vento ***VZ*** é aquele segundo o eixo Z, ou seja, é a influência que o vento, no sentido vertical, exerce na estrutura.

O vento ***V90*** é o vento que vem horizontalmente.

As cargas de vento são lançadas sobre o eixo Local 2 que, como vimos anteriormente, é perpendicular à posição do perfil na estrutura. Por isso que nos banzos esta carga se encontra inclinada e nas colunas ela se encontra horizontalmente.

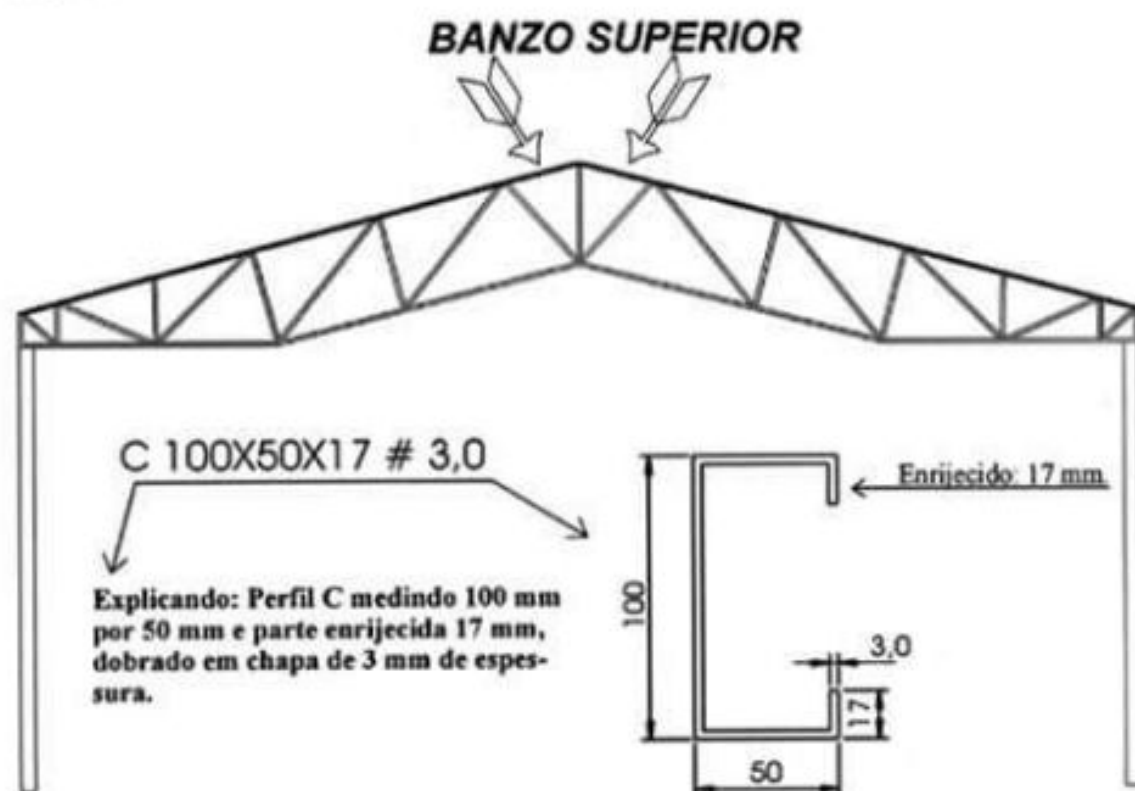
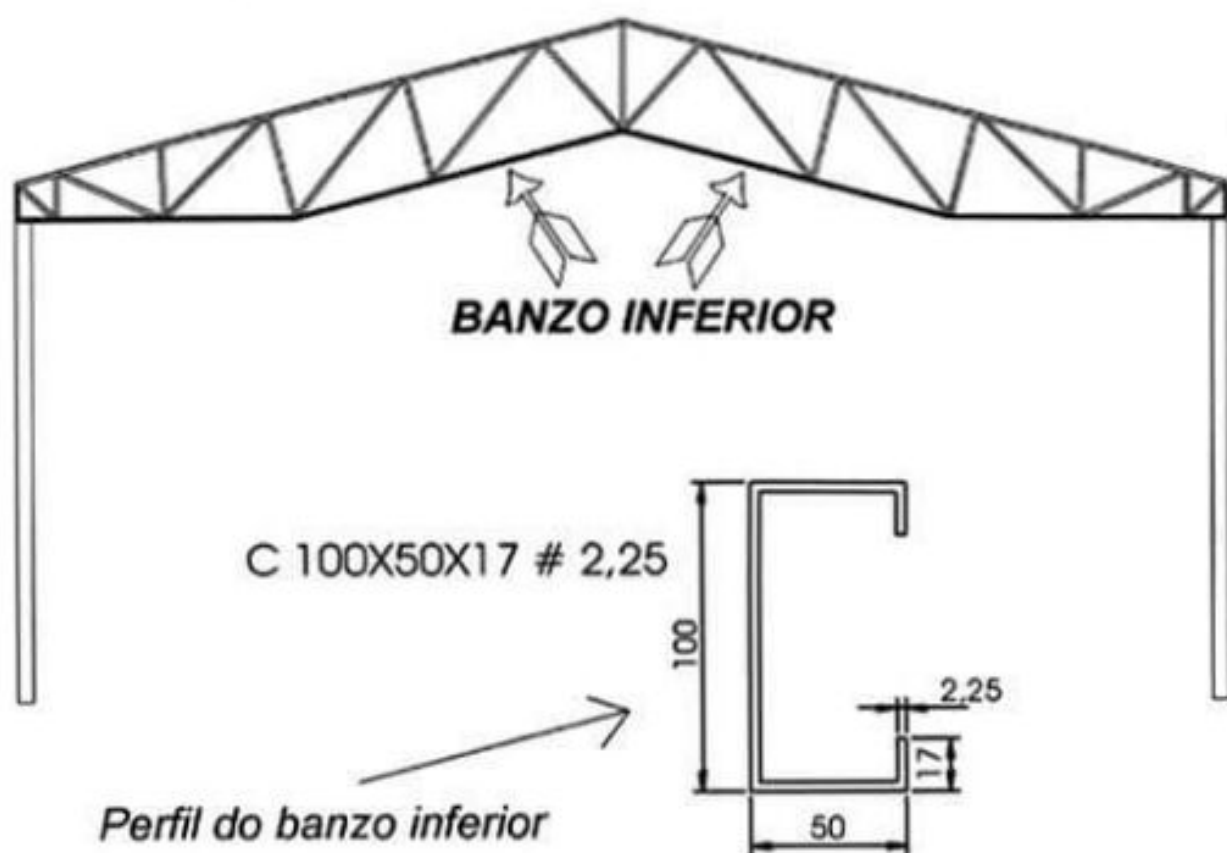
Lançamento das cargas de vento (VZ)

Lançamento das cargas de vento (V90)

Após definidas as atuações das cargas de vento, peso próprio e sobrecarga, podemos passar então para o dimensionamento dos perfis. Já definimos o formato da estrutura, como também já definimos quais os perfis a serem utilizados. Falta agora saber que ***espessura*** desses perfis devemos usar.

Este tipo de cálculo, para ser feito manualmente, é muito complexo e demorado, por isso é recomendável o uso de algum programa de cálculo estrutural metálico. Utilizando tal programa, podemos calcular a estrutura várias vezes e chegar a um resultado mais seguro e econômico. Para o nosso galpão, foram definidas várias espessuras para os perfis utilizados.

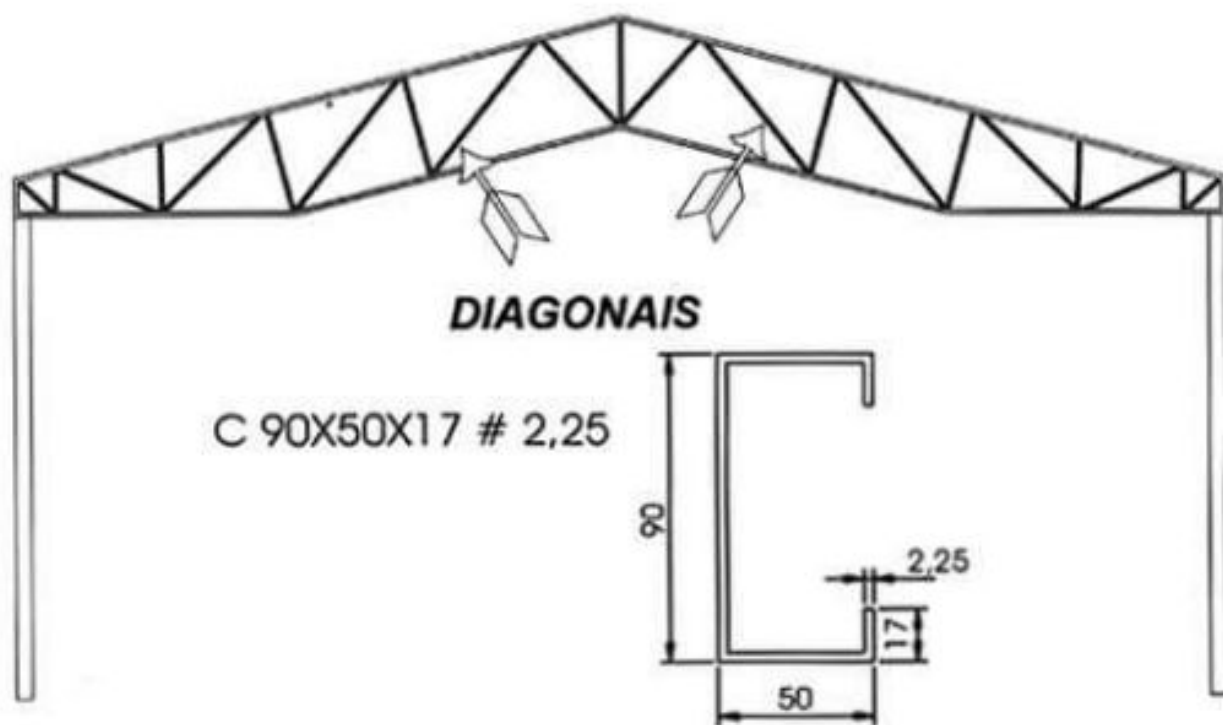
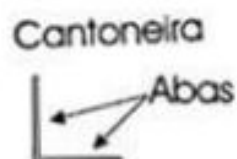
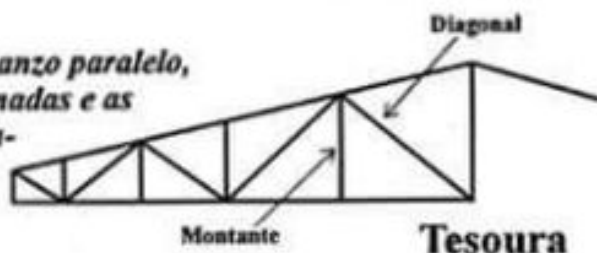
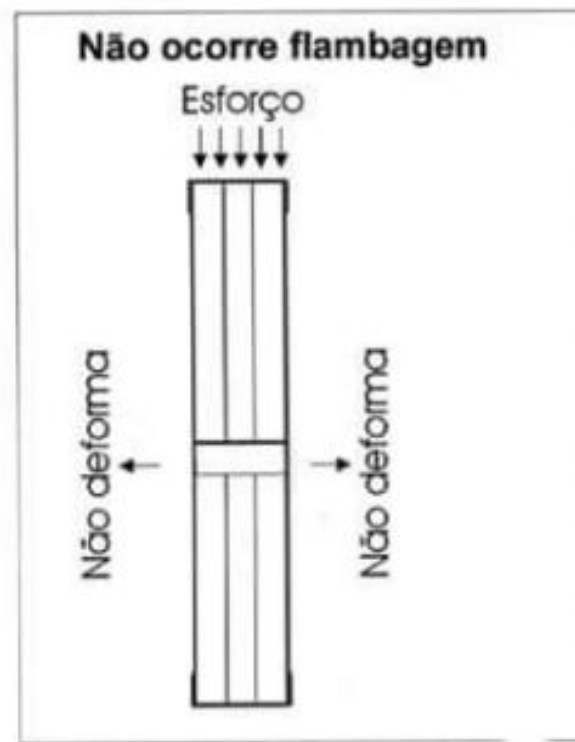
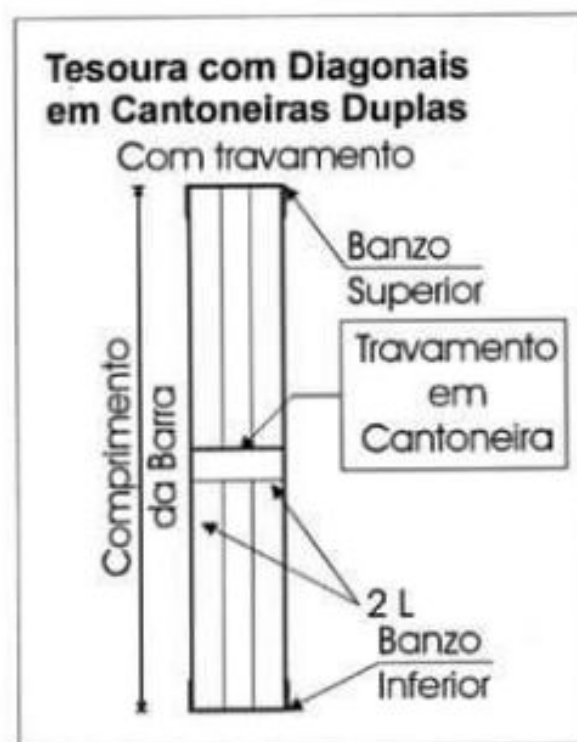
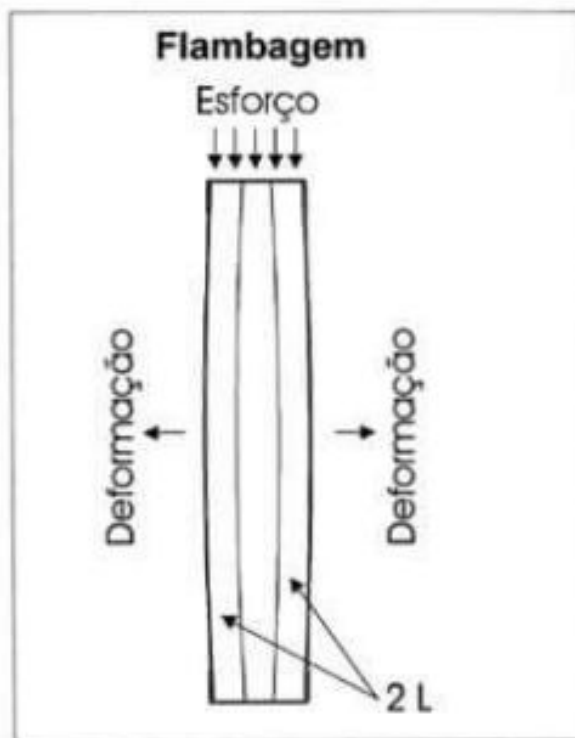
Vejamos a seguir como ficou definido:

Para os banzos superiores, o perfil ficou C 100X50X17 # 2,25
Para os banzos inferiores, o perfil ficou C 100X50X17 # 3,0
Nas diagonais, colocaremos um perfil C 90X50X17 # 2,25
Nas colunas, colocaremos dois perfis C 250X85X25 # 4,75
As terças receberão um perfil C 127X50X17 # 2,25

Explicando a composição da tesoura

Banzo superior: É o perfil da parte de cima da tesoura, que acompanha a inclinação do telhado. Ele deve ser mais reforçado, pois recebe maior carga vinda das terças.

Banzo inferior: É o perfil da parte de baixo da tesoura. Pode ou não acompanhar a inclinação do telhado. No caso desta tesoura, parte dele acompanha a inclinação (banzo paralelo) e parte está colocada horizontalmente (banzo triangular). Este não precisa ser tão reforçado quanto o banzo superior, pois a incidência de carga sobre ele é menor.

O banzo inferior da tesoura é composto por duas partes, uma inclinada e uma horizontal. A parte inclinada foi colocada com o intuito de aumentar a altura do pé-direito no centro do galpão. A utilidade da altura maior varia de acordo com a utilização do galpão.

O perfil do banzo inferior da tesoura tem as mesmas medidas do banzo superior, com exceção da espessura da chapa. Enquanto que para o banzo superior, para os cálculos deste galpão, a chapa tem 3 mm de espessura, para o banzo inferior, segundo os cálculos, não é necessário chapa mais que 2,25 mm de espessura.

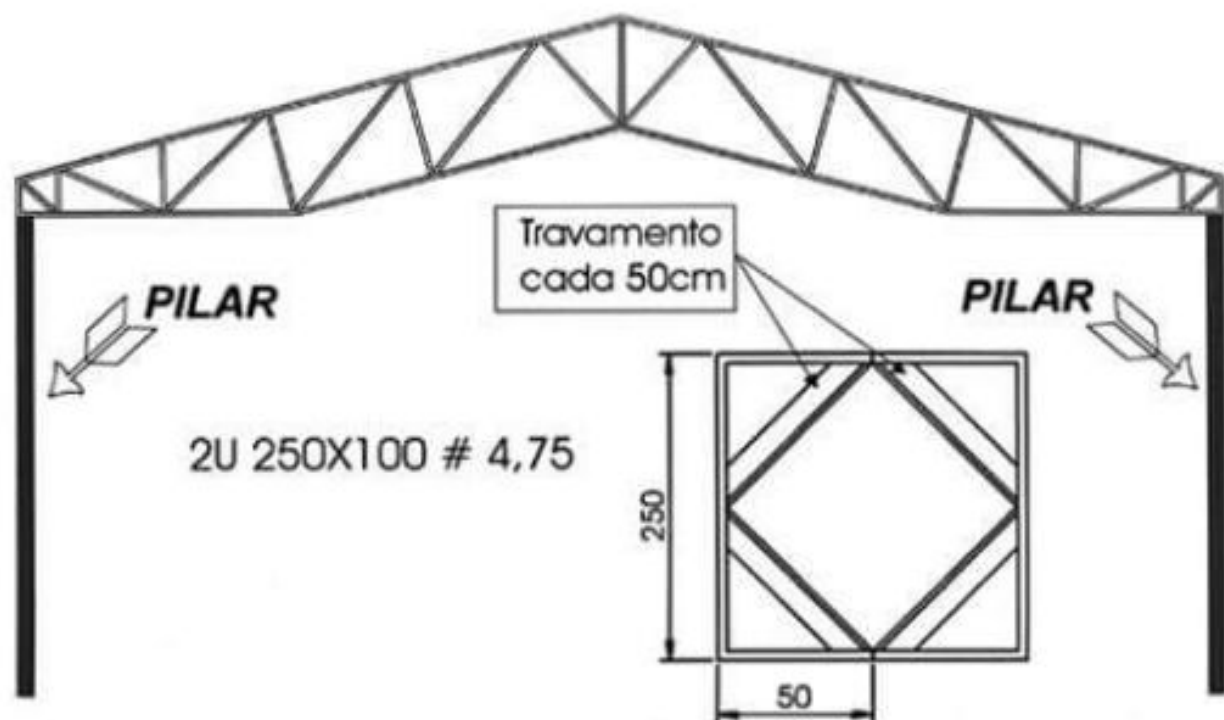
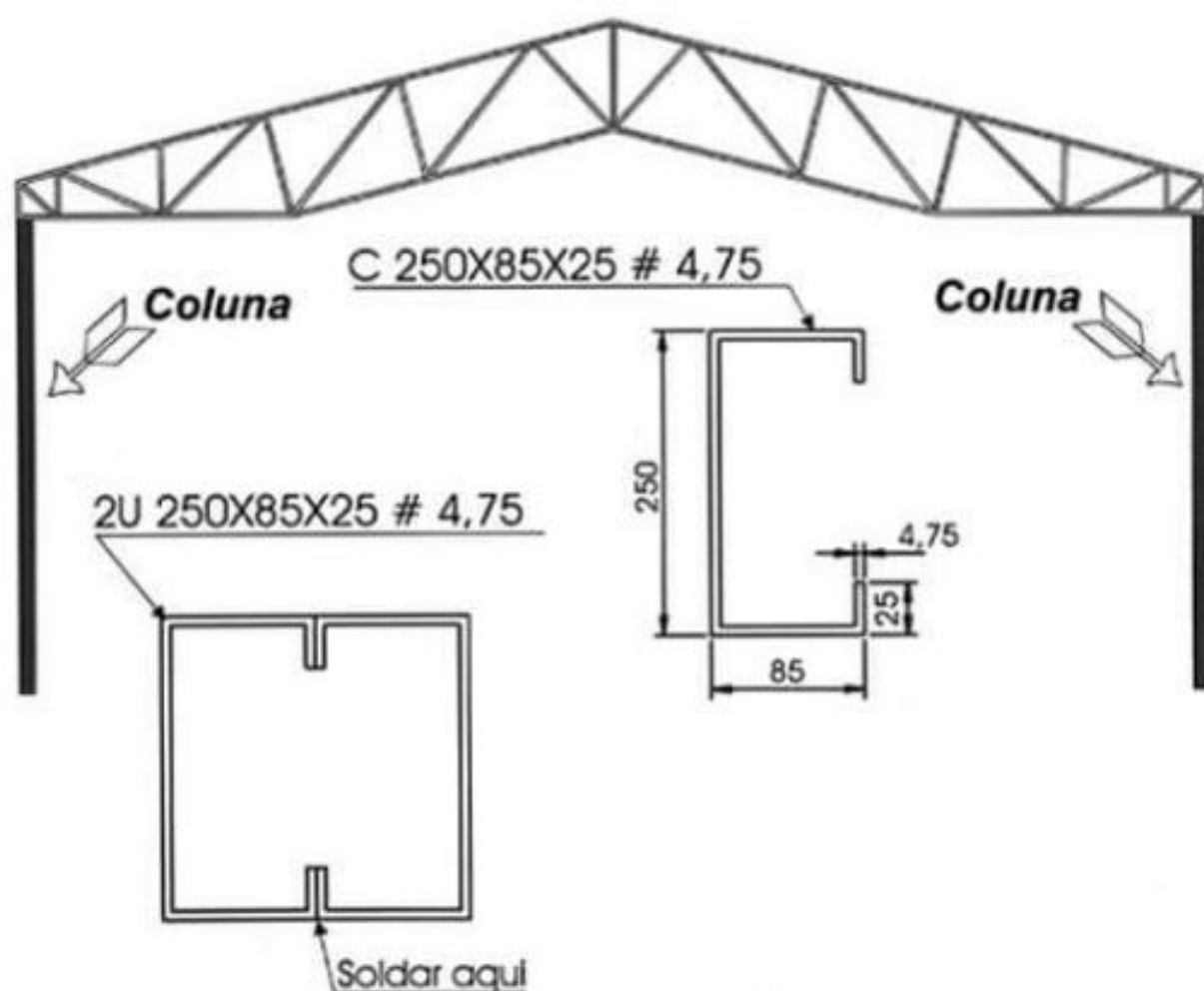
Diagonais: são aqueles perfis que vão inclinados, num formato trapezoidal, ligando o banzo inferior ao banzo superior. O perfil das diagonais deve ser menor que o dos banzos, pois ele deve se encaixar nos mesmos. No nosso caso, o perfil das diagonais tem o mesmo formato do perfil dos banzos, e isso reforça ainda mais a idéia de que elas devem ser menor que os banzos. Para as diagonais não é necessário uma chapa muito espessa.

As diagonais também podem ser feitas utilizando outros tipos de perfis como: U simples, L dupla, L simples, etc. No caso de cantoneiras (L) duplas, deveríamos colocar uma ao lado da outra, encaixando as mesmas dentro do perfil do banzo. Caso as diagonais fossem muito grandes e os perfis escolhidos fossem cantoneiras duplas, o correto é travar as mesmas no meio com a própria cantoneira usada na diagonal, para evitar o problema de ***flambagem*** que ocorre em perfis finos e com um comprimento grande. Este travamento varia de acordo com a espessura do perfil e o comprimento da barra que estamos utilizando. Por exemplo, esse travamento pode ser colocado a cada 60cm ou 50cm. Essa distância entre uma trava e outra vai depender da espessura e tamanho das abas das cantoneiras que estamos utilizando.

Flambagem: É a deformação que uma peça sobre devido a um esforço. No caso de duas cantoneiras, elas se abririam. Observe desenho abaixo:

Flambagem

Como vimos nos desenhos anteriores, quando não colocamos travamento, o esforço aplicado no banzo faz com que as diagonais deformem lateralmente, ou seja, é como se elas se abrissem. Quando há o uso do travamento entre uma cantoneira e outra, este travamento impede tal deformação, mantendo assim, a tesoura estável e sem flambagem nas diagonais. Este travamento geralmente é feito utilizando a própria cantoneira das diagonais, porém utilizando apenas uma. Esta peça pode ser com uma espessura mais fina, pois o esforço exercido sobre ela não é tão significativo. Como o próprio nome já diz, o travamento é utilizado apenas para travar uma cantoneira na outra.

No caso do galpão proposto neste Catálogo, este travamento não é necessário, pois o perfil C já é enrijecido ao longo da própria barra. Este enrijecimento é aquela pequena dobra que o perfil possui.

Ex.: C 100X50X17 # 2,25 Neste caso, o que enrijece o perfil é a dobra de 17mm.

Os perfis U simples geralmente não necessitam de travamento, a não ser em caso de perfis grandes e de chapa fina (Ex.: U 250X100 # 2,25) e cujo comprimento da barra utilizada também seja grande.

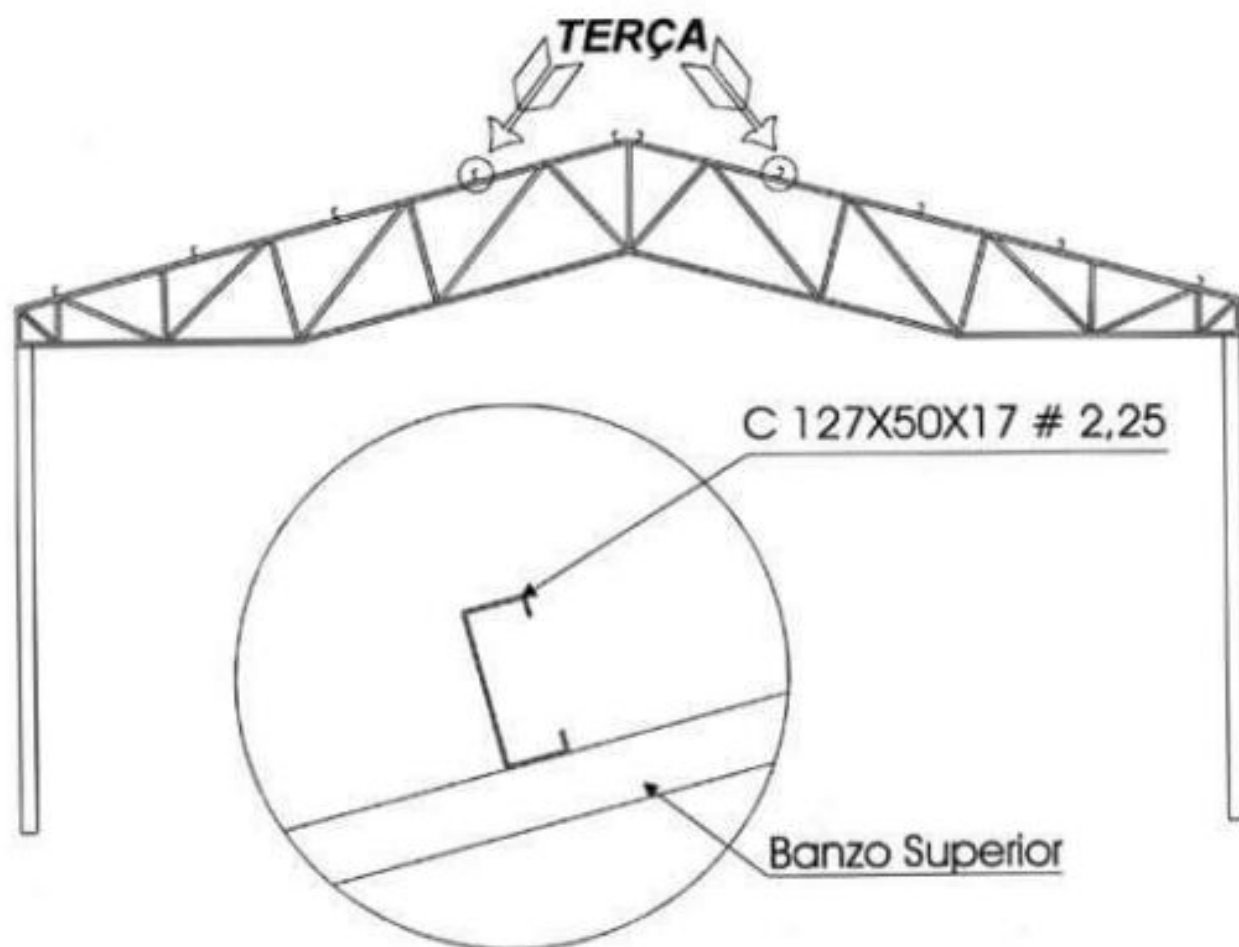
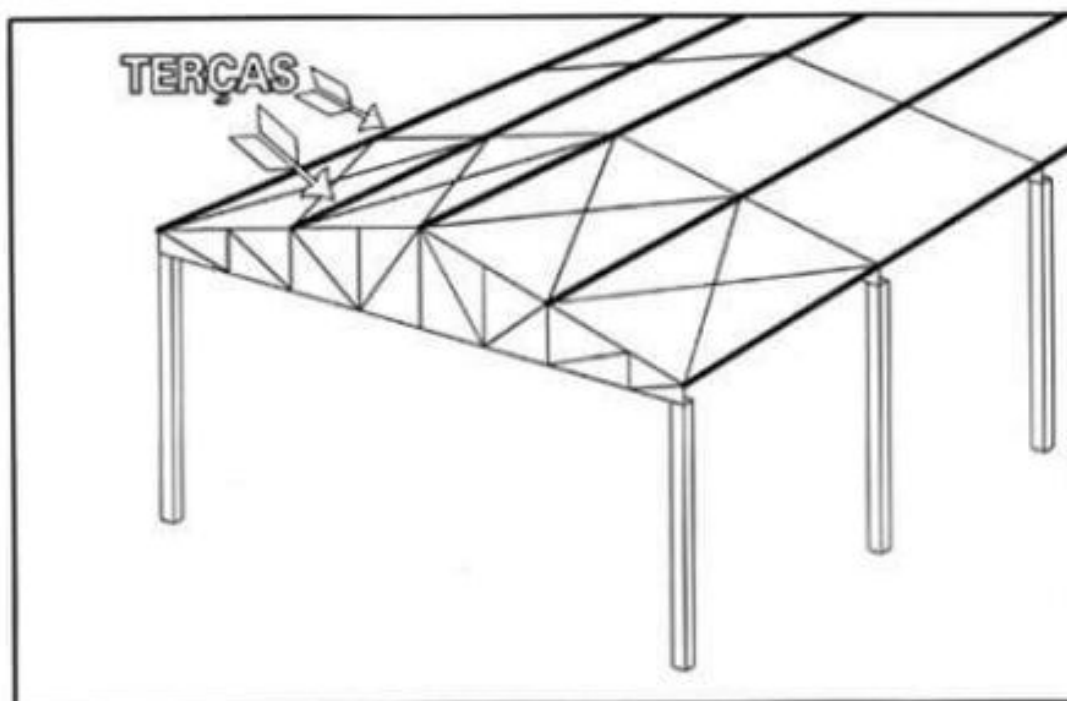
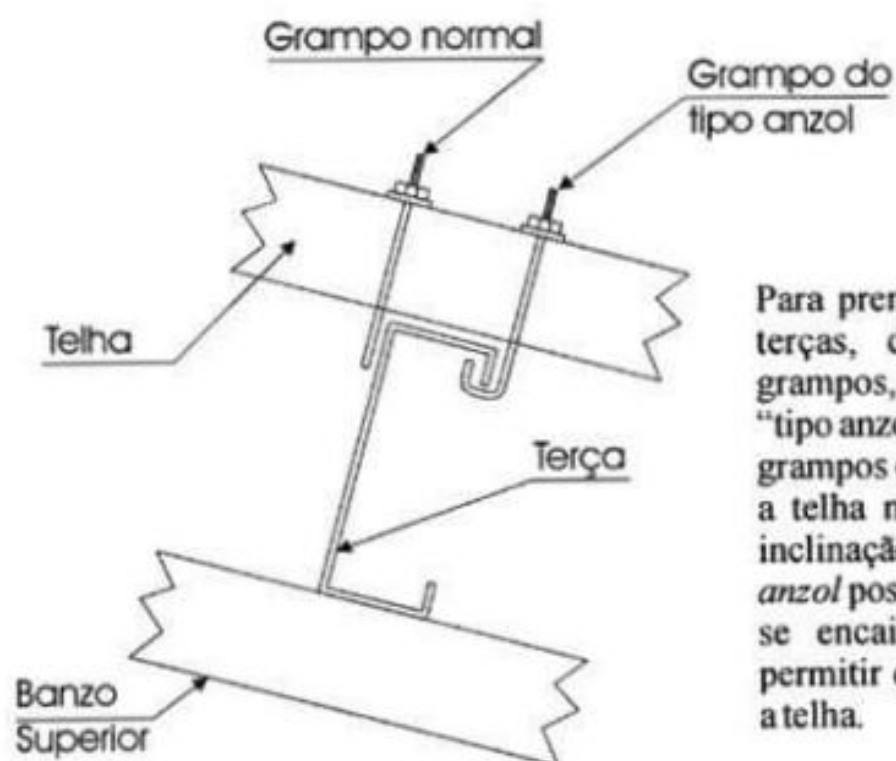
Ex.: Se a coluna fosse um tubo formado por 2U 250 x 100 # 4,75 seria bom que colocássemos travamento de cantoneira a cada 50cm.

Colunas: Colunas são os *pilares* responsaveis por levar toda a carga vinda das tesouras e demais elementos da estrutura para a fundação. Para as colunas são usados perfis mais resistentes. No caso do nosso galpão, os pilares foram feitos utilizando um tubo fechado, feito com dois perfis C 250x85x25 # 4,75, soldados um de frente para o outro, no que dizemos "formato sanduíche". Como foi utilizado um perfil C, não precisaremos utilizar aquele travamento de cantoneira a cada 50cm, pois o perfil C já é enrijecido.

Este tubo fechado, também pode ser formado a partir de 2 perfis U simples, soldados também um de frente para o outro. Só que, quando utilizamos este tipo de perfil, é necessária a colocação do travamento em cantoneira como foi mostrado na página anterior.

As colunas recebem um perfil maior e mais resistente, pois são elas que passam para a fundação as cargas da estrutura.

Terças: As terças são os perfis que vão ao longo do galpão com o objetivo de receber a cargas do telhado e transferir essas cargas para as tesouras. Elas devem ser colocadas utilizando um perfil C, pois o vão que elas precisam "vencer" é grande, e se não houver o enrijecido no perfil, as terças podem deformar muito. As telhas são "amarradas" nas terças..

Vencer um vão: Diz-se *vencer um vão,* quando um perfil ou estrutura possui seus apoios distantes e o mesmo precisa resistir às cargas daquele determinado vão.

Amarrar telha: é quando fixamos a telha à terça através de grampos ou outro dispositivo. No caso do nosso galpão, esta amarração será feita através de grampos, que são facilmente encontrados em lojas do ramo, juntamente com as telhas.

Neste galpão vamos utilizar 5 terças de cada lado (cada água), com espaçamento de aproximadamente 1,77 m entre uma **terça** e outra, deixando 50 cm. no início para a calha e 15 cm na parte alta para a cumeeira.

As terças vão no sentido do comprimento do galpão, travando uma tesoura à outra - no sentido transversal - e servindo de apoio para as telhas.

Para prendermos as telhas às terças, devemos usar dois grampos, um normal e um do "tipo anzol". O uso desses dois grampos é necessário para que a telha não deslise devido a inclinação. O grampo do *tipo anzol* possui esse formato para se encaixar à terça e não permitir que o vento arranque a telha.

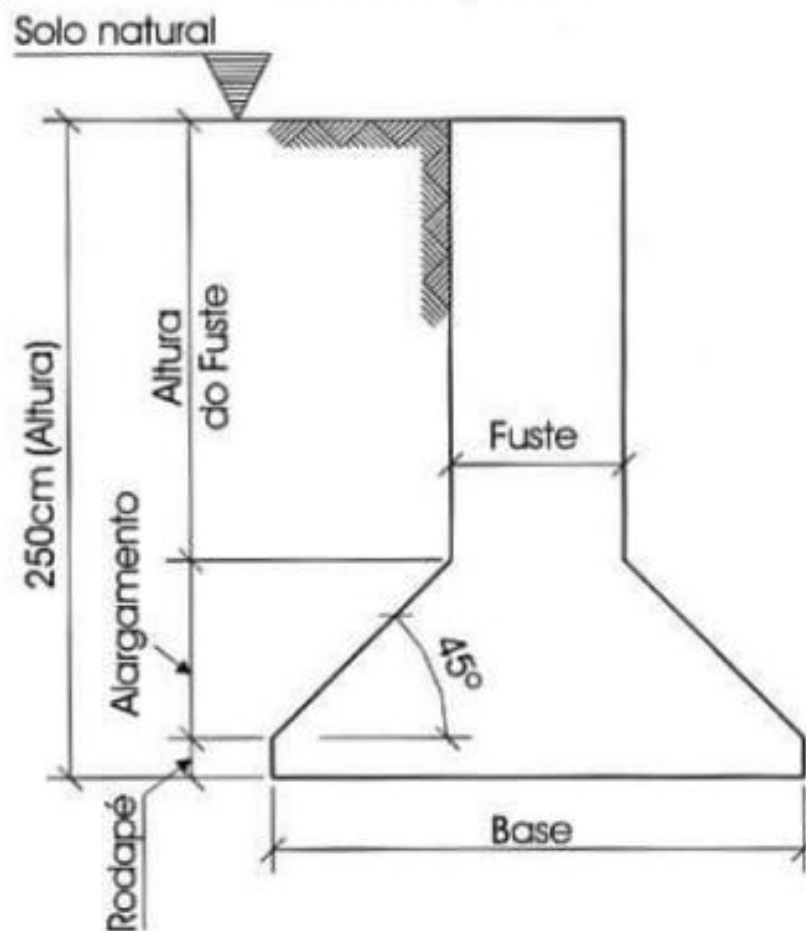
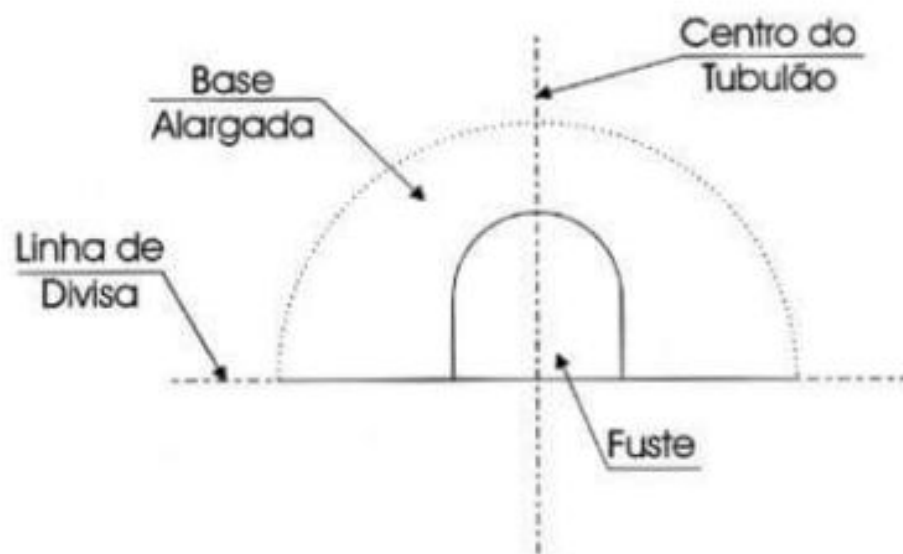
Fundação: Nas fundações de galpões geralmente são usados estacas, sapatas ou tubulões. No caso do galpão que estamos construindo, vamos utilizar um ***tubulão*** armado, com 2,50m de profundidade, tendo em vista o terreno pré-estabelecido. Com um raio da base de 1,00m. o ***tubulão*** terá o formato de meia-lua (apenas a metade de um circulo), pois estamos considerando que nosso galpão está posicionado de tal forma que ocupará todo o lote (terreno) no sentido da largura e a fundação de uma construção não deve invadir o lote vizinho. Assim, o ***tubulão*** será feito somente no terreno onde está sendo construído o galpão. Devido as cargas vindas da estrutura, momentos, peso próprio, etc., este ***tubulão*** deve ser armado totalmente, ou seja, nos 2,50m. Esta armação é necessária para que diminuamos o diâmetro do ***tubulão.***

ARMAR uma FUNDAÇÃO: Colocar ferragens de acordo com o cálculo

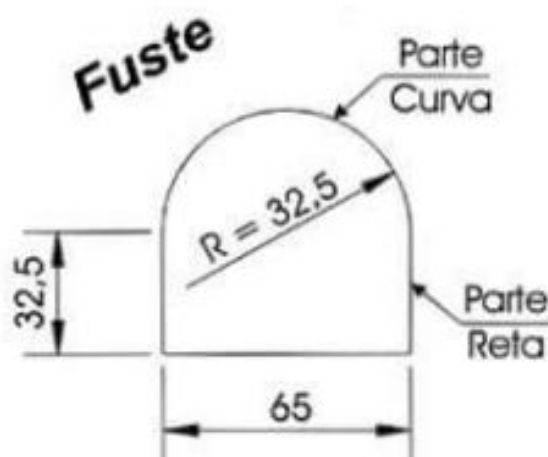
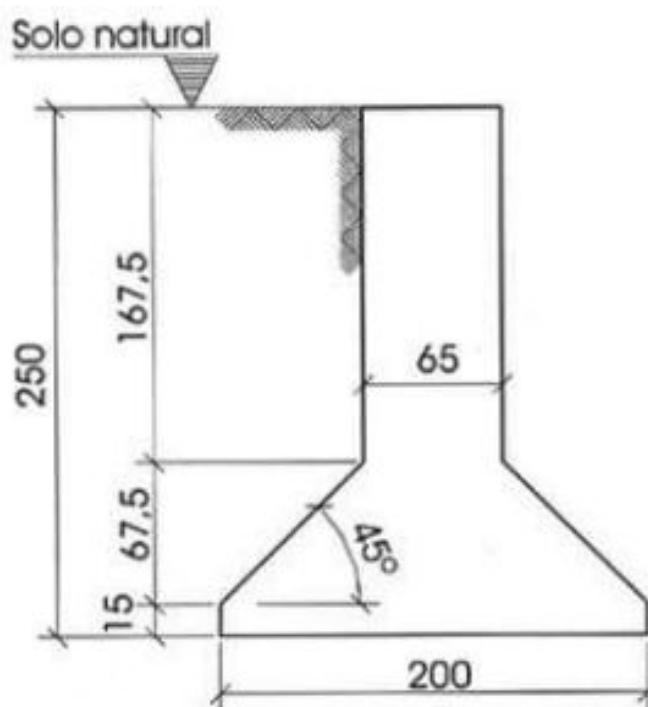
Quando usar sapatas e quando usar estacas

As ***sapatas***, também chamadas fundações rasas, são usadas quando o terreno oferece resistência a uma profundidade até 1,5m. Por outro lado, quando a resistência do terreno estiver a 5m de profundidade, por exemplo, é mais econômico projetar fundações por ***estacas,*** as chamadas fundações profundas.

Detalhes de um Tubulão

Vista Superior

Vista Lateral

Armação e dimensões do tubulão: Como a base deste tubulão vai ser apenas a metade de um círculo, então temos que dimensionar a base do mesmo com um raio duas vezes maior do que se ele fosse normal (redondo).

O que teremos então?

Para o fuste, a parte curva terá um diâmetro de 65cm e a parte reta terá 65cm de largura e 32,5cm de comprimento, ou seja, vamos com a parte reta até a metade do fuste e depois fazemos o arco.

A altura do fuste será determinada de acordo com a do alargamento. No nosso caso será os 2,50m menos a altura que tivermos na base e no alargamento.
Para o rodapé, podemos considerar uma altura de 15cm
O diâmetro da base será de 2,0m e o ângulo para o alargamento é de 45°.
Portanto, a altura do fuste é de 167,5cm que é 15cm de rodapé, mais 67,5cm do alargamento.

A ARMAÇÃO DO TUBULÃO

Apesar de o tubulão necessitar de uma armação, esta armação não precisa ser muito pesada. Podemos usar para ela ferro de 10,0mm (3/8 ou 7/16) e estribos de 6,3mm (1/4).

Estribos: peças de ferro redondo que amarram os ferros das armações, são geralmente de barras redondas de 6,3 mm (1/4). Não há necessidade de ferros resistentes para os estribos, porque não recebem carga de grande valor.

A Armação é feita com ferros que vão de cima a baixo do tubulão para ajudar a resistir os momentos aplicados na base.

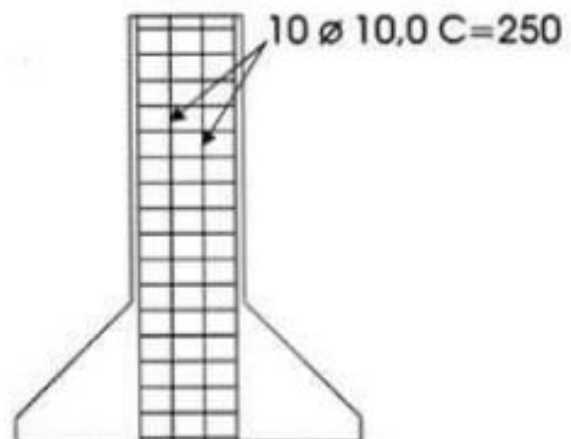
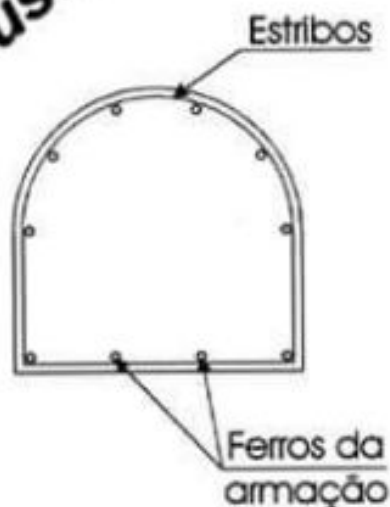
Para os estribos, usamos ferro de 6,3mm a cada 12,5cm.
No desenho acima, a descrição do estribo está colocada da seguinte forma: 20 ø 6,3 C/12,5 C=225cm

Mas, o que significa cada um daqueles valores colocados embaixo do estribo?

O 20, é a quantidade de estribos a ser utilizada, no caso do nosso tubulão, utilizamos 20, porque o mesmo possui 2,5m de profundidade e eos estribos estão colocados a cada 12,5cm.
Como ficaria esta conta?
Quantidade = 250cm / 12,5cm
Ou seja, a quantidade é igual a profundidade dividido pelo espaçamento entre os estribos.

C/12,5 é o espaçamento entre os estribos, ou seja, a cada 12,5 centímetros é colocado um estribo.

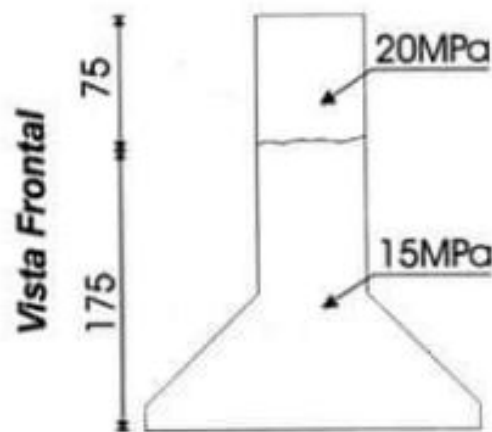
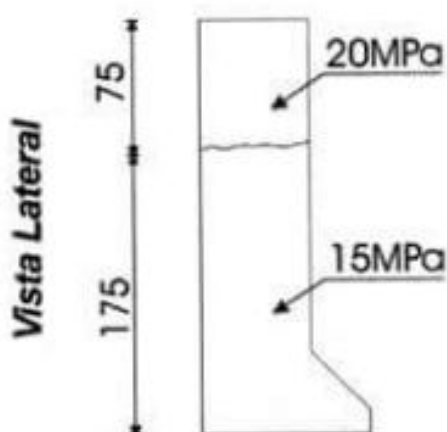
O 6,3 é a espessura (bitola) do ferro utilizado no estribo.

C=225cm é o comprimento do ferro utilizado, nesse caso, utilizaremos uma barra de 225cm de comprimento.

Os desenhos acima nos mostram como ficaram os ferros retos da armação.
O primeiro desenho nos mostra o formato para a colocação desses ferros, e o segundo nos mostra que os ferros vão ao longo de toda a profundidade do tubulão. Foram utilizadas 10 barras de ferro de 10mm (ou 3/8) com 250cm de comprimento cada uma. Essas barras vão da cabeça (parte mais alta) do tubulão até sua base (parte mais baixa).

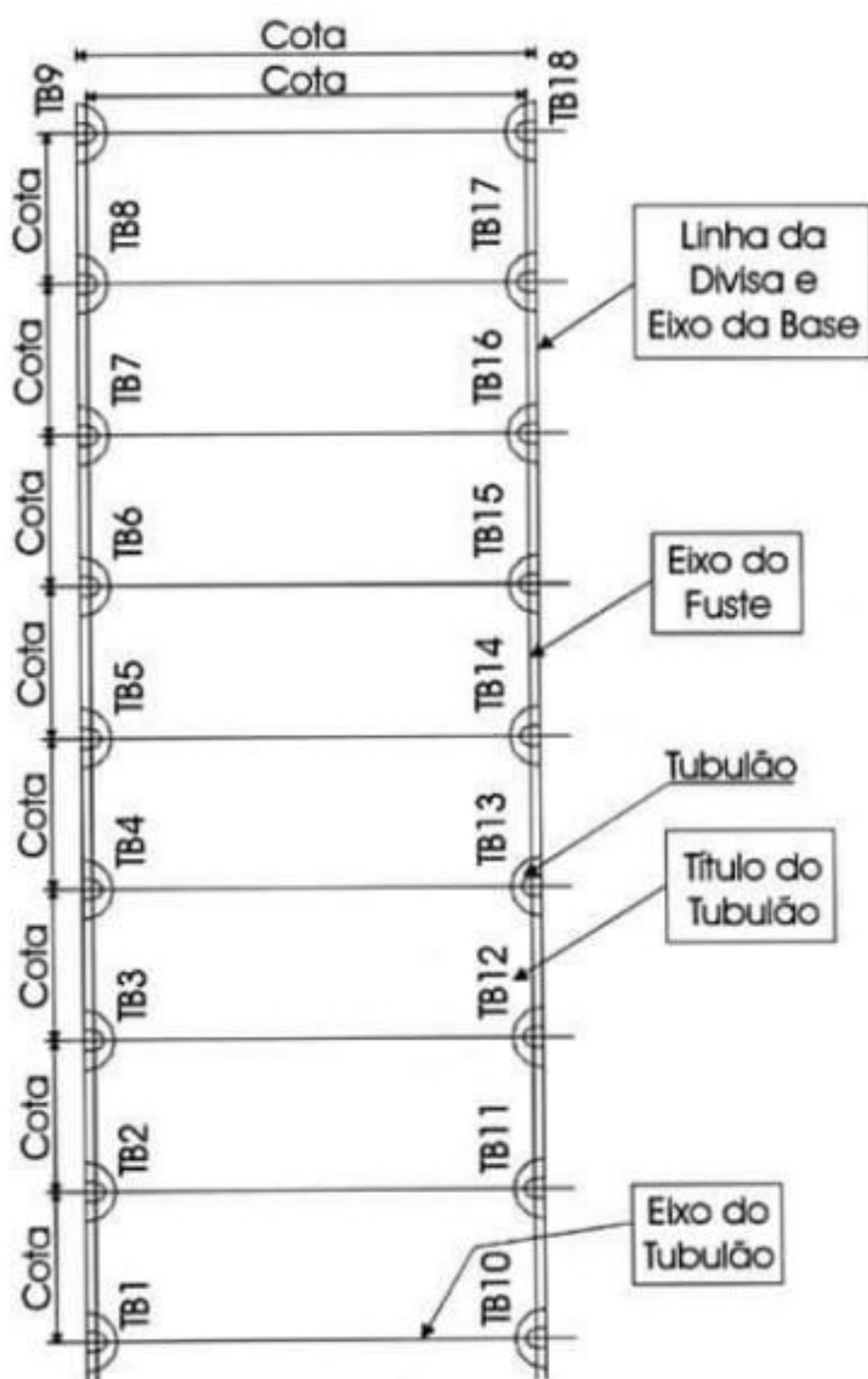
Vejamos agora que concreto usaríamos nesse tubulão.

Na cabeça do tubulão, precisamos de um concreto bem resistente, por causas das cargas de momento. Para este caso, vamos utilizar o concreto 20MPa.

20MPa é a resistência do concreto.
MPa quer dizer Mega Pascal, que é uma medida de resistência.

Este concreto será utilizado com aproximadamente 75cm de profundidade. Após esta profundidade, podemos passar para um concreto um pouco mais fraco. No nosso caso, vamos utilizar o 15MPa.

Agora que já temos os tubulões detalhados e sabemos as dimensões deles, precisamos locá-los no terreno.

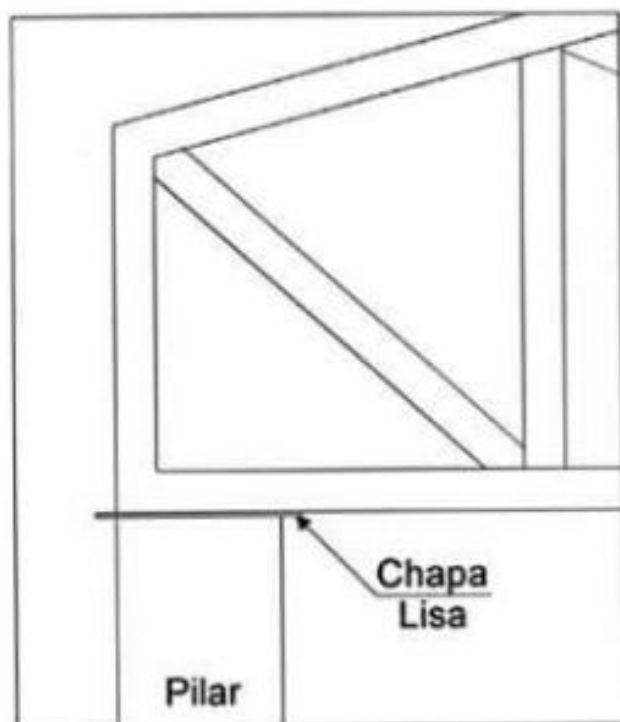
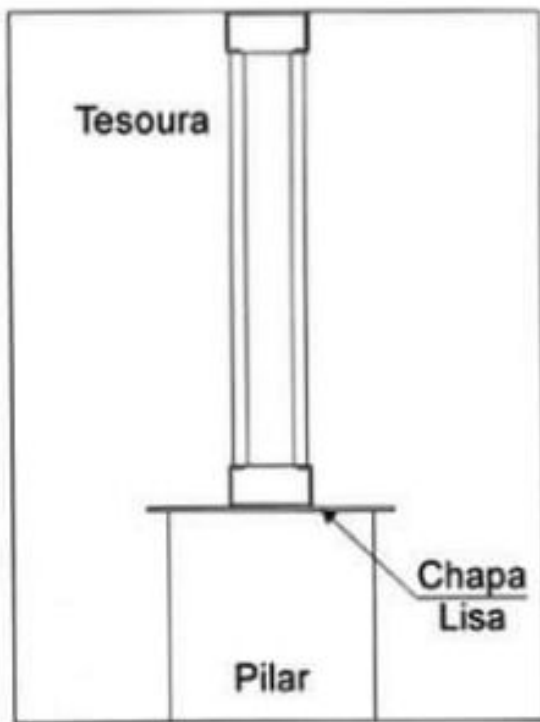
LOCAÇÃO é a determinação da localização de cada tubulão, ou elemento da fundação, dentro do terreno.

Para facilitar essa locação, traçamos eixos no alinhamento do centro de cada tubulão. Esses eixos são feitos utilizando linhas (geralmente as chamadas linhas de anzol) para traçarmos o terreno de um lado a outro nos dois sentidos (largura e comprimento) e, no, cruzamento dessas linhas, vemos colocar o centro dos tubulões.

Cota: É a medida da distância entre dois pontos. A cota pode ser vertical, horizontal, alinhada, angular, de raio, de diâmetro, etc. Nos projetos, elas são de fundamental importância para a montagem da estrutura, pois é através delas que ficamos sabendo a distância entre dois pontos ou entre duas retas.

Por exemplo: A distância entre o banzo inferior e o banzo superior de uma tesoura, a distância entre um pilar e outro, etc.

Agora já estamos com nosso galpão quase todo detalhado. Falta apenas duas peças. São as chapas que vão na base (parte mais baixa) e na cabeça (parte mais alta) da coluna. A chapa que vai na cabeça da coluna é usada para ligar a coluna à tesoura. Esta chapa não precisa ser muito espessa, pois não recebe muita carga. Esta carga é quase toda transferida diretamente da tesoura para a coluna. Portanto, ela serve basicamente para fechar o tubo que forma o pilar

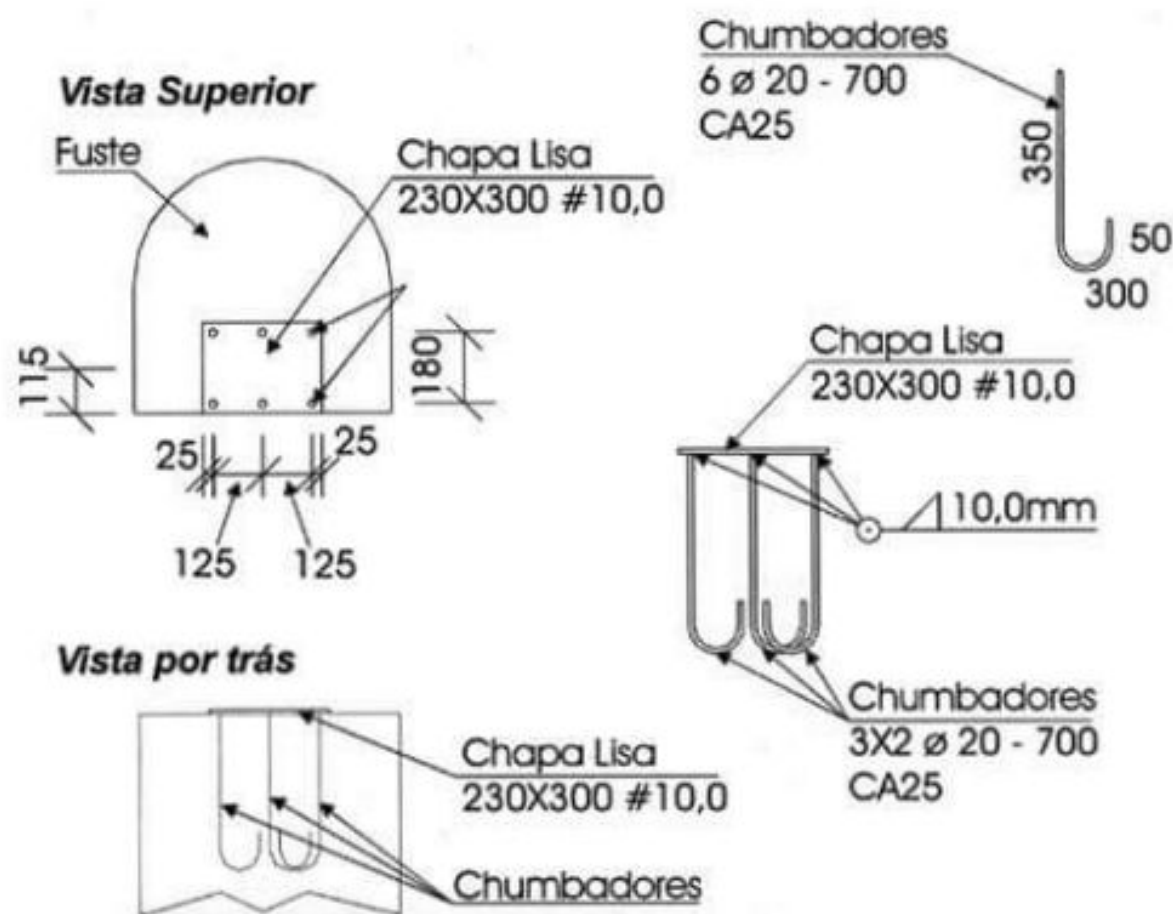
CHAPA LISA DE FECHAMENTO DO PILAR

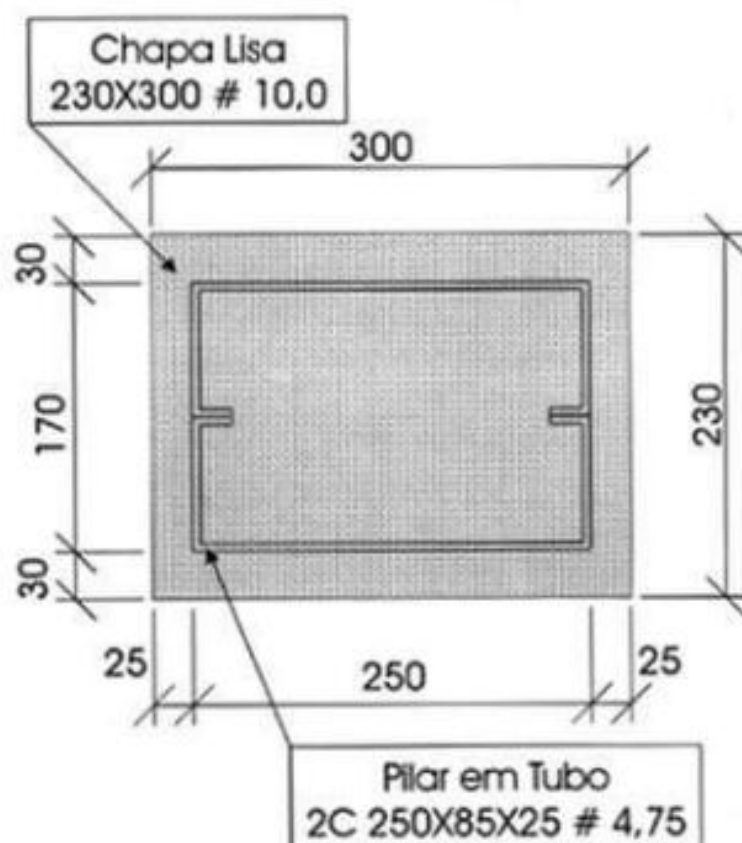
Vista lateral

Vista Frontal

A chapa lisa para fechamento da coluna será de 230X300 # 4,75, o que quer dizer que ela terá 230mm de largura, 300mm de comprimento e 4,75mm de espessura (chapa 3/16). Lembrando ainda que a chapa que vai na cabeça do pilar pode serde espessura menor do que a que vai na base, porque a da base vai receber as cargas de toda a estrutura, e tem a função de travar a coluna no tubulão, não deixando que o mesmo se desloque, causando vários problemas na estrutura.

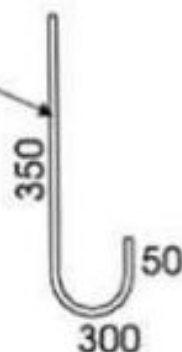
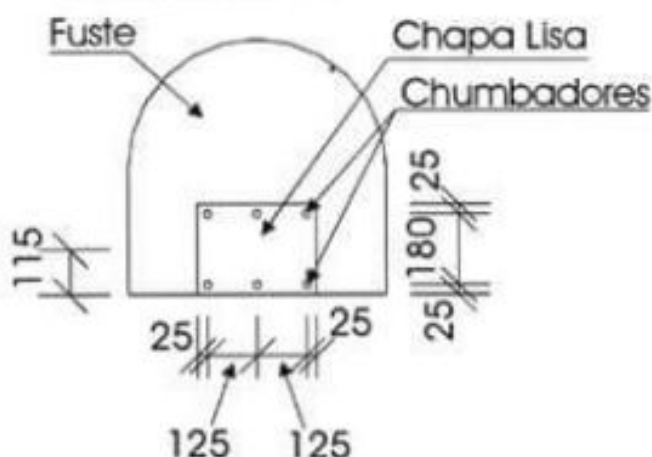
Sendo assim, para a base da coluna podemos utilizar uma chapa de 10,0mm (ou chapa 3/8). Ela terá as mesmas dimensões da chapa que vai na cabeça da coluna, porém com uma espessura bem maior. A chapa será de 230X300 # 10,0. O que quer dizer que a chapa terá 230mm de largura, 300mm de comprimento e 10mm de espessura (se o fabricante não tiver chapa de 10 mm de espessura, podemos usar a chapa 3/8 ou 716).

Agora já sabemos quais serão as chapas que ligarão a tesoura à coluna e a coluna à fundação. Mas, para a fundação, ainda precisamos de mais um detalhe: prender a chapa no tubulão.

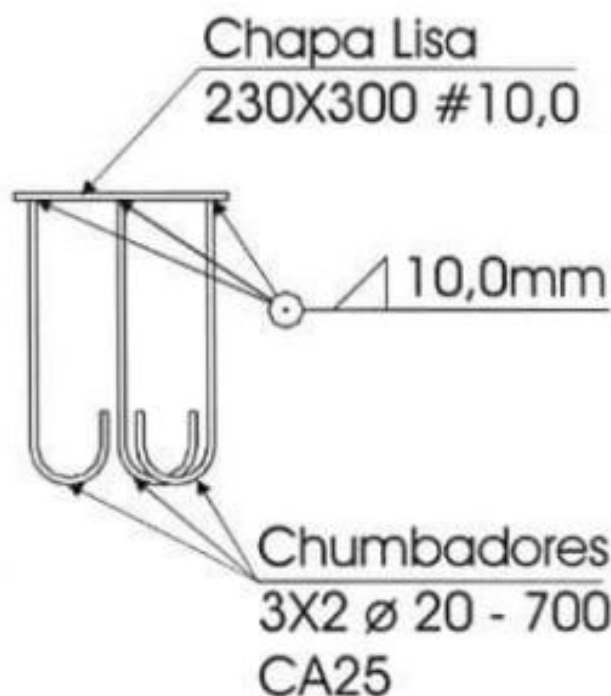
Para podermos prender a chapa da base ao tubulão, vamos utilizar alguns ferros redondos. Esses ferros, vão em um formato de guarda-chuva e são chamados de chumbadores, pois são eles que prendem (chumbam) a estrutura ao tubulão. Tais ferros devem ser muito resistentes, pois eles vão ter que suportar um esforço muito grande vindo da estrutura. A solda que liga esses ferros à chapa lisa também deve ser bem reforçada.

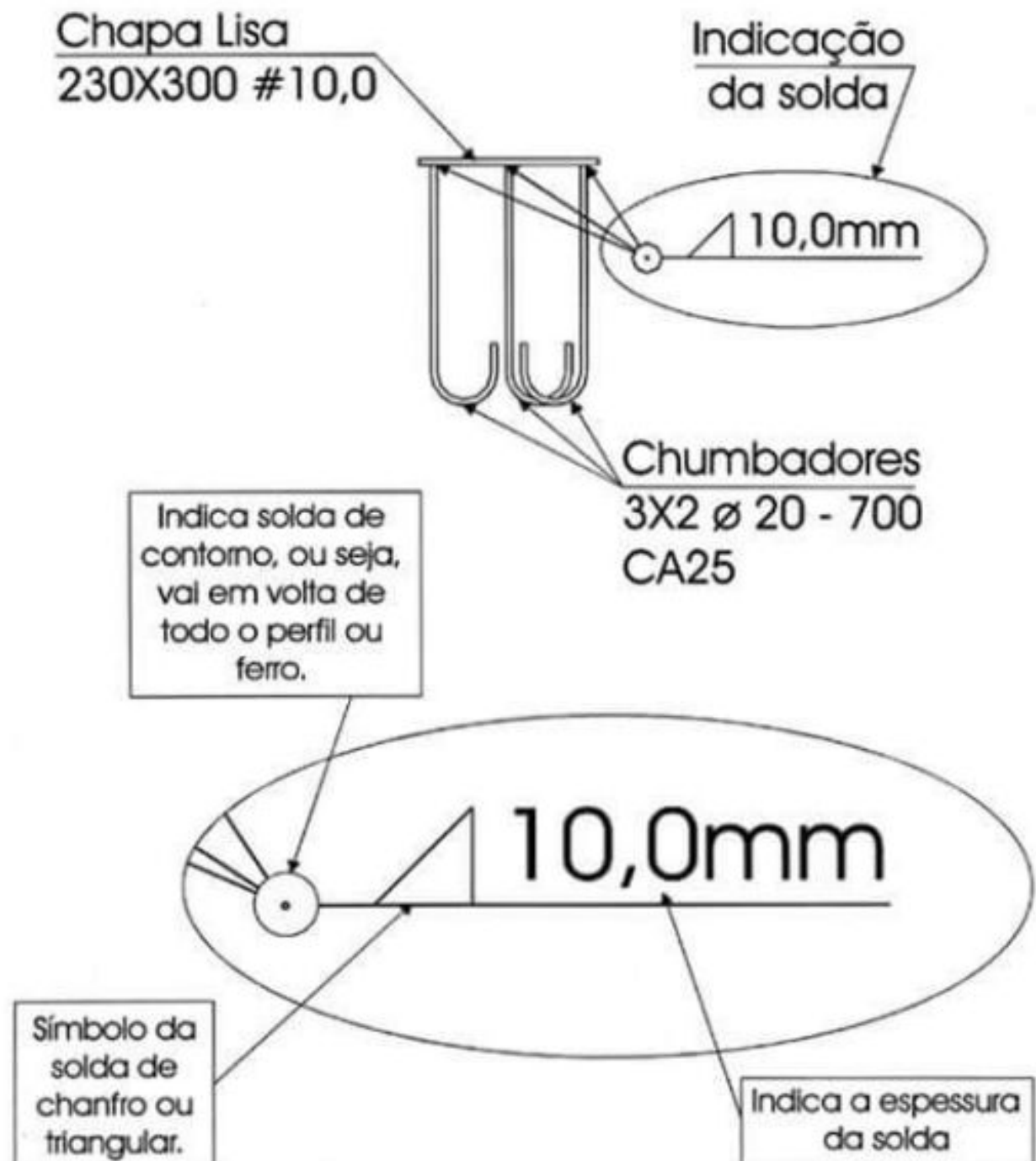
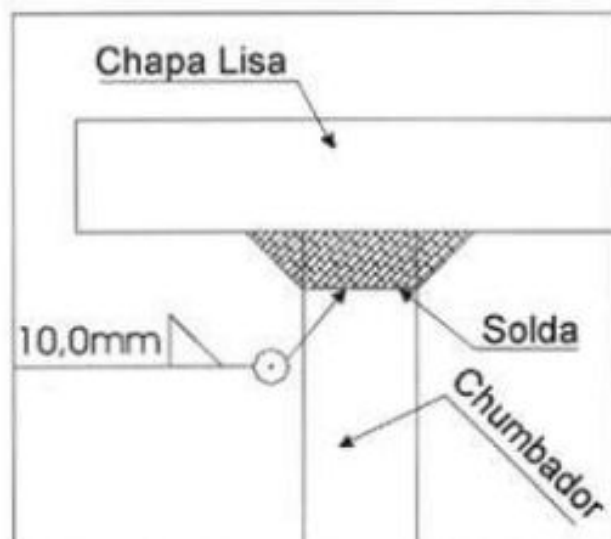
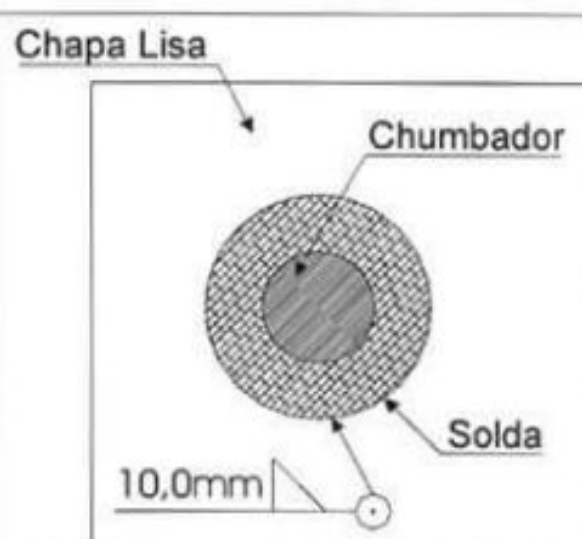
Para o nosso caso, vamos utilizar ferros lisos com 20mm de espessura (ou ferro ¾). Utilizaremos 6 barras (com 70mm de comprimento cada uma) desses ferros, as quais penetrarão aproximadamente 40cm para dentro do concreto da cabeça do tubulão.

Vamos ver agora, de uma maneira mais detalhada o que significa cada peça do apoio do pilar (***pilar*** é mesmos que ***coluna***).

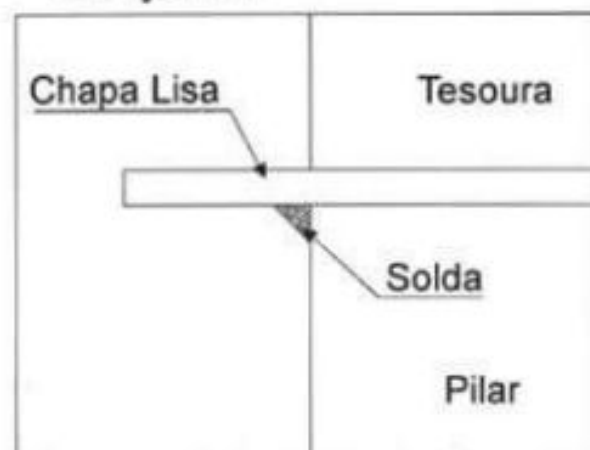
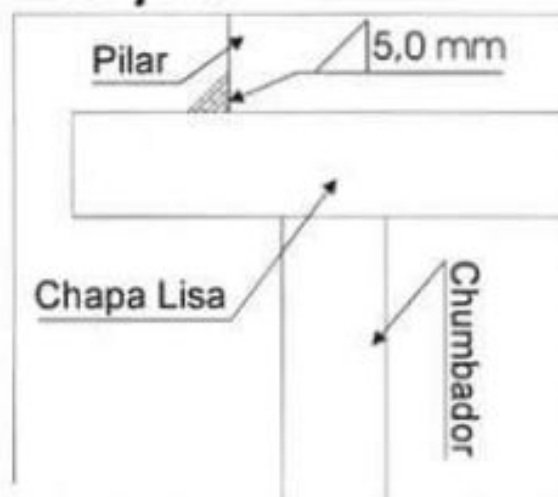
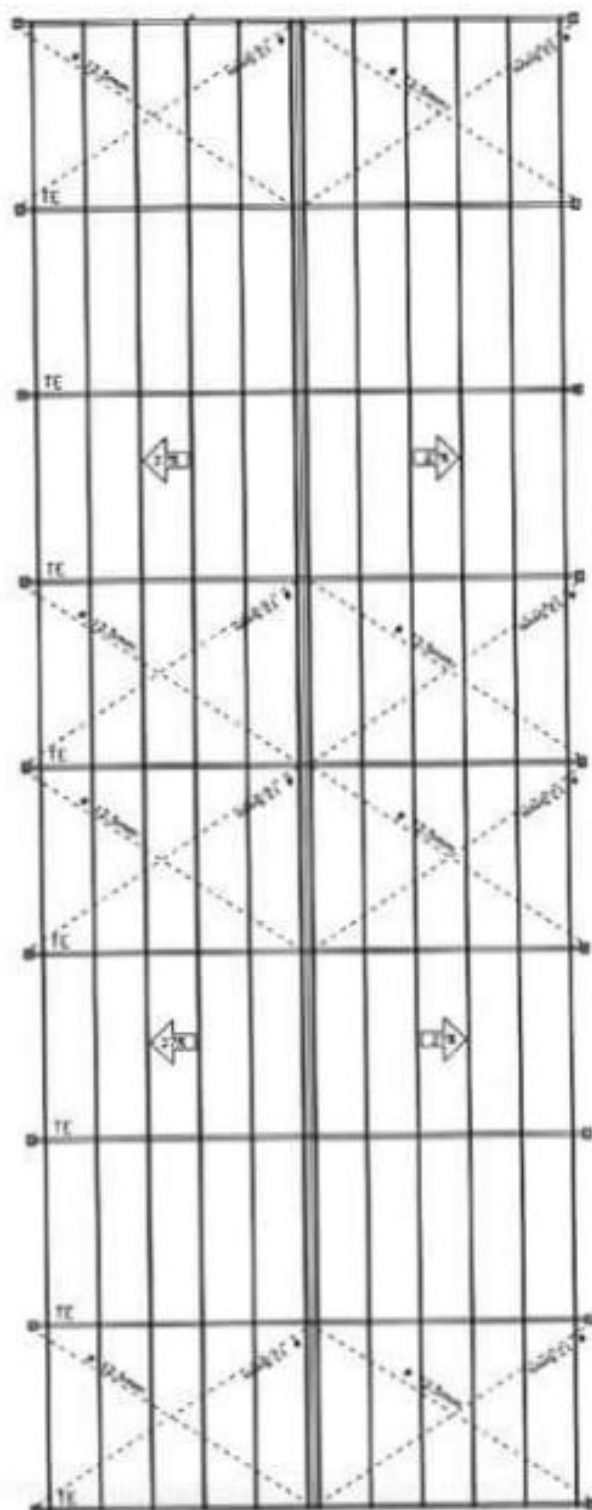
Chapa lisa: Como já dissemos anteriormente, essa chapa é muito importante na estrutura, pois é ela que liga o pilar aos chumbadores. Como ela recebe um grande esforço, precisa de uma bitola (espessura) maior. No caso do nosso galpão, colocamos 10,0mm. Seu tamanho é de 230X300, este tamanho é maior que o pilar, mas ele é necessário para que tenhamos uma maior área de apoio sobre o tubulão.

Chumbadores: São aqueles ferros colocados embaixo da chapa lisa, para fazer com que a mesma fique grudada no concreto do tubulão. Eles possuem um formato de cabo deguarda-chuva e no caso do nosso galpão foram feitos com ferro liso de 20,0mm de espessura e 700mm de comprimento.

O que representa cada medida do desenho?
350 é o comprimento da maior parte reta do chumbador: é o que dá a profundidade da penetração do chumbador no concreto.
300 é o comprimento da curva do "cabo de guarda-chuva".
50 é o comprimento da menor parte reta do chumbador.

Vejamos no desenho abaixo as distâncias que os chumbadores devem ficar em relação às bordas da chapa lisa e como será a colocação dos mesmos

O que representam as distâncias mostradas no desenho?

115 é a distância do centro da chapa lisa até a borda do tubulão ou da própria chapa lisa, pois a chapa lisa foi colocada faceando o tubulão.
25 é a distância do centro do ferro liso até a face da chapa lisa. Ela é a mesma para todas as barras, como podemos observar no desenho.
125 é a distância do centro de um ferro liso ao outro, no sentido do comprimento da coluna (pilar).
180 é a distância do centro de um ferro liso ao outro, no sentido da largura do pilar.

O desenho ao lado nos mostra em uma vista lateral, como ficaria a colocação dos chumbadores na chapa lisa. Esses chumbadores não precisam ficar necessariamente como está no desenho. A única exigência que se faz é que eles fiquem para dentro do concreto. A parte curva deve ser colocada com uma rotação que melhor se adapte à situação da chapa e do tubulão. Deve se respeitar, no entanto, as distâncias entre um ferro e outro, não podendo ser alterado, pois existem distâncias mínimas e máximas de um ferro à borda da chapa, e tais distâncias não podem ser alteradas, porque pode comprometer a integridade, tanto da chapa lisa, quanto dos chumbadores, comprometendo também todo o resto da estrutura que está apoiada sobre eles.

SOLDA

Existem vários tipos de solda, mas em nosso galpão utilizamos somente a solda triangular ou de chanfro. Sua espessura, como já dissemos anteriormente, varia de acordo com a espessura do perfil ao qual ela está sendo aplicada.
Veja no desenho abaixo o símbolo da solda de chanfro:

SOLDA DOS CHUMBADORES

Vista Lateral — Vista Inferior

Nos chumbadores do nosso galpão, vamos utilizar uma solda de chanfro com 10,0mm de espessura contornando os mesmos. Essa solda deve ser bem grossa (espessa) pois as cargas da fundação são grandes. Então precisamos de uma forte ligação entre a chapa de base e os chumbadores. Para a ligação da chapa de base com o pé (base) do pilar, podemos utilizar uma solda um pouco mais fina. Nesse caso a solda poderá ser de 8mm ou até mais fina. Para a cabeça do pilar essa solda poderá ser menor ainda, cerca de 5mm. E para a ligação dos perfis na montagem da tesoura, podemos utilizar apenas 3 ou 4mm de solda, lembrando que a solda a ser utilizada é do tipo triangular (ou de chanfro).

Solda da cabeça do pilar

Solda da base do pilar

Agora que temos o galpão todo definido, falta apenas um elemento estrutural a ser colocado: o ***contraventamento***. Os contraventos são muito importantes, pois são eles que vão dar estabilidade à estrutura toda. Contraventos são ferros lisos que ligam uma tesoura a outra. Eles possuem geralmente o formato de um X e são colocados seguindo a inclinação do telhado.
Para o nosso galpão, os contraventos serão em ferro liso de 12,5mm (ferro de ½) e o esquema de montagem dos mesmos, foi definido assim.

Indicação dos contraventos

Relação de Material

Estando o galpão todo calculado e esquematizado, precisamos saber quanto nos custará para construí-lo. Para isso, precisamos saber quanto de material vamos gastar.

Existem duas partes calculadas que devemos tirar a relação de material separadamente. A primeira é a fundação.

Fundação

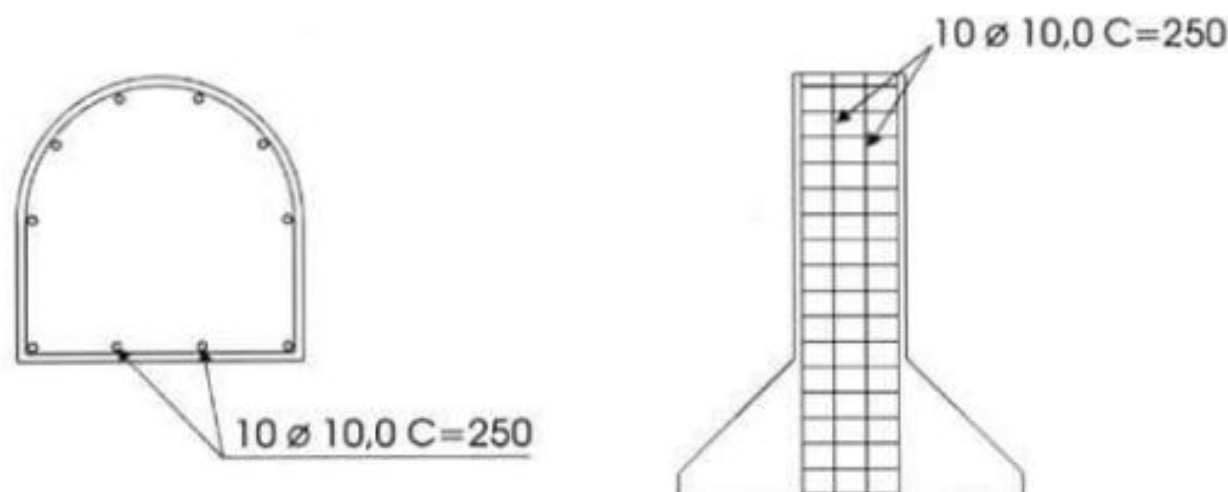
A fundação é tida como concreto, por isso não vamos colocar sua relação de material junto com a parte metálica, que é a estrutura. Existem hoje no mercado, diversos tipos de aço. Para concreto, calculamos o aço utilizado apenas na armação do tubulão. O aço que usamos na fundação do tipo CA50.

Existem vários outros tipos de aços como: CA60, CA25, etc. O tipo do aço muda de acordo com sua resistência.

Calculando o Material

Para tal cálculo, devemos medir as barras que utilizamos e somar seus totais, lembrando que cada espessura de barra deve ser medida separadamente.

Como temos apenas um detalhe de tubulão, vamos medir essas barras apenas uma vez e multiplicar pela quantitade de tubulões que utilizamos.

Vamos medir por partes, primeiro as barras com 10,0mm (ou ferro redondo 3/8)

Como foi mostrado do desenho anterior, nós temos, para cada tubulão, 10 barras de ferro de 10,0mm com 250cm cada uma.

O que fazemos então?

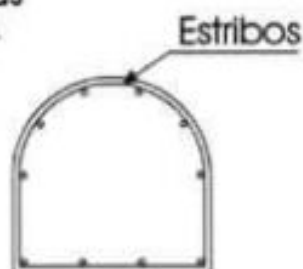
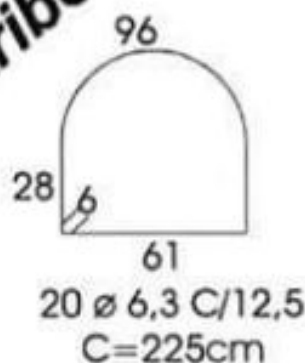
Multiplicamos:

10 barras X 250cm = 2500cm de ferro de 10,0mm para cada tubulão. Agora, multiplicamos esse total pela quantidade de tubulões que temos, que no nosso caso é 18.

Então temos:

2500cm X 18 tubulões = 45000cm
Em metros temos 450m

Agora vamos calcular a quantidade de barras de 6,3mm que é a espessura utilizada nos estribos.

Para isso, fazemos da mesma forma que nas barras da armação: medimos o tamanho de cada estribo, multiplicamos pela quantidade de estribos. O resultado multiplicamos novamente pela quantidade de tubulões.

O tamanho da barra é de 225cm. Mas, como chegamos a esse valor. Esse tamanho é a soma de todas as partes do estribo.

Quantidade = 20
Parte curva = 96cm
Parte reta maior = 61cm
Partes retas menores = 28 (X2)
Dobras = 6cm (X2)

Então temos:

20 barras X 225cm = 4500cm de ferro de 6,3 mm para cada tubulão.
4500cm X 18 tubulões = 81000cm

Em metros temos 810m de ferro de 6,3mm

O ferro CA50, geralmente é encontrado no mercado em barras de 11,80m.

Então vamos transformar nossas medidas para essas barras e saber quantas barras teremos.

Para o ferro de 10,0mm

450m / 11,8m = 38,14 barras
Como não compramos barras picadas, então teremos 39 barras de ferro de 10,0mm.

Para o ferro de 6,3mm

810m / 11,8m = 68,64 barras
Arredondando este valor para barras inteiras, teremos 69 barras de ferro de 6,3mm.

Então teremos:

Ø 10,0mm = 39 barras
Ø 6,3mm = 69 barras

Estrutura:

O material da estrutura do galpão é calculado da mesma forma que o aço da fundação. Medimos as barras de apenas uma tesoura e multiplicamos pela quantidade de tesoura que teremos, lembrando que isso só vale para o caso como o nosso galão, em que todas as tesouras são iguais.

Somamos todas as barras que utilizam um mesmo tipo de perfil, depois, multiplicamos pela quantidade de tesouras encontradas na estrutura.

As terças, como nosso galpão é retangular, medimos uma terça e multiplicamos pela quantidade de terças encontradas no galpão. O contravento, deve ser medido barra por barra.

Como será esse cálculo então?

Para medirmos o tamanho das barras, podemos utilizar duas formas.

1ª) Utilizar as cotas que vêm no projeto.

2ª) Utilizar uma régua e pegarmos as medidas pela escala do desenho.

Escala: É a quantidade de vezes que esse desenho deve ser multiplicado para se chegar ao tamanho real.
Por exemplo: Num desenho na escala 1:50, devemos multiplicar a distância que encontramos na régua 50 vezes para sabermos o seu tamanho real.
Veja:
Se medimos uma barra no desenho, utilizando uma régua, e encontramos 15cm, então devemos multiplicar esses 15cm por 50 para acharmos o tamanho real do que queremos medir.

Ficaria: 15cm X 50 (escala) = 750cm (7,5m)

Lembrando: É por isso que, sempre, um projeto deve vir com a indicação da escala em que se encontra cada desenho. Isto facilita, caso tenhamos que medir o desenho em alguma parte onde não tiver cotas.

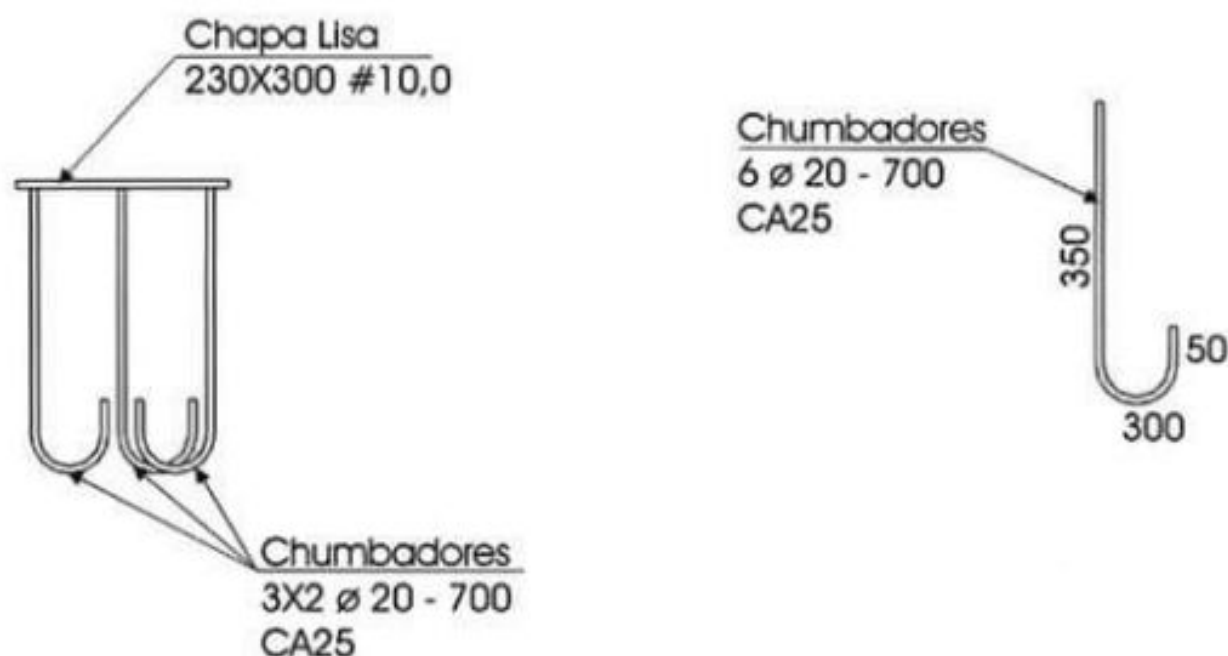
Utilizando os programas CAD para desenhar o projeto, fica fácil colocar esses desenhos na escala desejada. Caso o desenho seja feito a mão livre, devemos dividir todas as distâncias desejadas pela escala que queremos.

Por exemplo: Caso queiramos desenhar uma linha que indique 20m, na escala 1:75, essa linha deverá ter 2000 / 75 = 26,66cm.

Primeiro vamos tirar a relação de material da ***base*** do pilar, ou seja, chapas e chumbadores.

Para a estrutura, vamos utilizar dois tipos de aço: o MR-250 e o CA25.

O CA25 será utilizado nas barras de ferro redondo liso (Chumbadores e contraventos).

O aço MR-250 será utilizado nas demais peças metálicas da estrutura.

Essa primeira etapa é bem simples, pois praticamente não temos medidas para tirar. Basta contarmos a quantidade de chapas lisas e a quantidade de chumbadores.

Chapas lisa: teremos 18, que é a quantidade de pilares da estrutura, isso considerando uma chapa para cada pilar. Temos18 chapas de 230X300 # 10,0mm

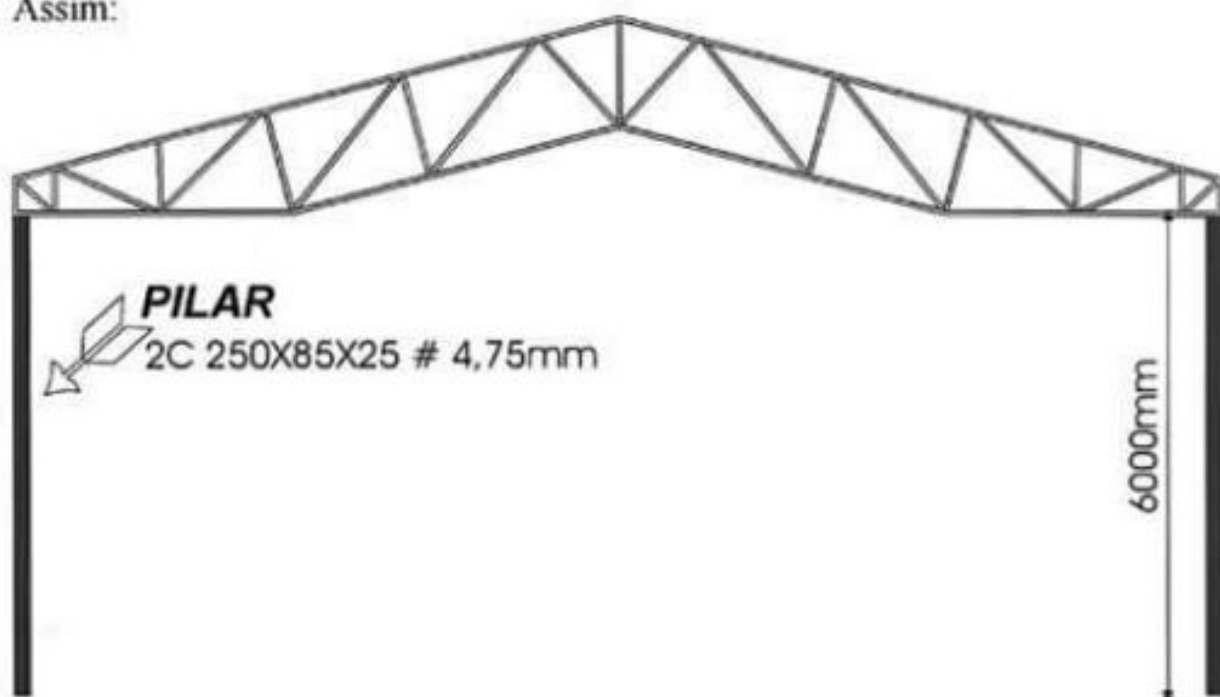
Chumbadores: medimos o comprimento de cada chumbador, multiplicamos pela quantidade de chumbadores em cada pilar e depois multiplicamos novamente pela quantidade de pilares.

Então fica assim:

700mm (tamanho do chumbador) X 6 (quantidade de chumbadores) = 4200mm
4200 (tamanho) X 18 (quantidade de pilares) = 75600mm de ferro de 20,0mm

Vamos calcular agora a quantidade do perfil dos pilares. C 250X85X25 # 4,75.

Para isso, basta medirmos a altura do galpão, multiplicar essa altura por dois, pois temos dois perfis em cada pilar para formar o tubo, e depois multiplicarmos essa nova medida pela quantidade de pilares (colunas).

Assim:

6000mm (tamanho do pilar) X 2 (quantidade de perfis para fazer o pilar) = 12000mm (tamanho total de perfil C 250X85X25 # 4,75 em cada pilar)

Depois a multiplicação pela quantidade de pilares.

12000mm X 18 (quantidade de pilares) = 216000mm (quantidade de perfil C 250X85X25 # 4,75 utilizada no galpão)
Em metros: 216m

Agora que já calculamos os perfis dos pilares, vamos calcular a chapa de fechamento da cabeça dos pilares.

Essa é bem simples: é só contar a quantidade de pilares, pois para cada pilar teremos uma chapa.

Então teremos 18 chapas de 230X300 # 4,75.

Com isso encerramos o cálculo do material utilizado nos pilares. Passamos agora para as tesouras.

Vamos iniciar com o cálculo dos perfis dos banzos inferiores. Os perfis C 100X50X17 # 2,25.

O procedimento é o mesmo: medimos o tamanho dos banzos e multiplicamos pela quantidade de tesouras.

Somando as distâncias teremos:

473mm (fechamento da tesoura) + 3470mm X2 (parte horizontal do banzo infeior) + 4170mm X 2 (parte inclinada do banzo inferior) = 16226mm para cada tesoura.

Depois, multiplicamos esse valor por 9, que é a quantidade de tesouras do galpão.

16266mm X 9 = 143034mm é a quantidade de perfis C 100X50X17 # 2,25 gasta no nosso galpão.
Em metros = 143m

Vamos agora calcular os perfis do banzo superior do galpão.

Sempre seguindo a técnica de medir as distâncias de uma tesoura e multiplicar pela quantidade de tesouras do galpão.

Os perfis usados para o banzo superior foram de C 100X50X17 # 3,0mm

Vamos então medir o tamanho dos banzo superior:

Somando as distâncias medidas, teremos:

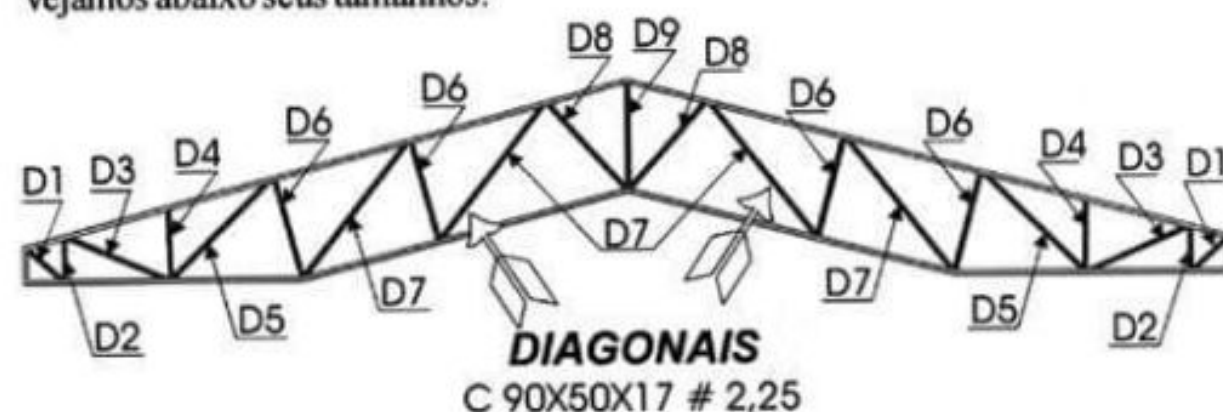
7763mm (tamanho de cada banzo) X 2 (quantidade de banzos) = 15526mm (tamanho do perfil C 100X50X17 # 3,0 de cada tesoura)

15526mm (tamanho) X 9 (quantidade de tesouras) = 139734mm que é o tamanho total do perfil do banzo superior.

Em metros teremos: 140m

Após termos relacionado os perfis dos banzos superiores, passaremos para as diagonais.

Os perfis das diagonais são do tipo C 90X50X17 # 2,25.

Vejamos abaixo seus tamanhos:

D1 = 667mm (X2)
D2 = 579mm (X2)
D3 = 1450mm (X2)
D4 = 928mm (X2)
D5 = 1812mm (X2)

D6 = 1323mm (X4)
D7 = 2192mm (X4)
D8 = 1492mm (X2)
D9 = 1376mm (X1)

Agora, o que temos a fazer é somar o tamanho das peças medidas:

D1 = 667mm (X2) = 1334mm
D2 = 579mm (X2) = 1158mm
D3 = 1450mm (X2) = 2900mm
D4 = 928mm (X2) = 1856mm
D5 = 1812mm (X2) = 3624mm
D6 = 1323mm (X4) = 5292mm
D7 = 2192mm (X4) = 8768mm
D8 = 1492mm (X2) = 2984mm
D9 = 1376mm (X1) = 1376mm

Total = D1 + D2 + D3 + D4 + D5 + D6 + D7 + D8 + D9

Total = 1334 + 1158 + 2900 + 1856 +3624 + 5292 + 8768 + 2984 + 1376 = 29292mm

Essa é a quantidade, em mm, de perfis C 90X50X17 # 2,25 em cada tesoura.

Com este total em mãos, basta agora multiplicá-los pela quantidade de tesouras que teremos. No caso, nove.

Então temos:

29292 X 9 = 263628mm de perfil C 90X50X17 # 2,25
Em metros temos 264m.

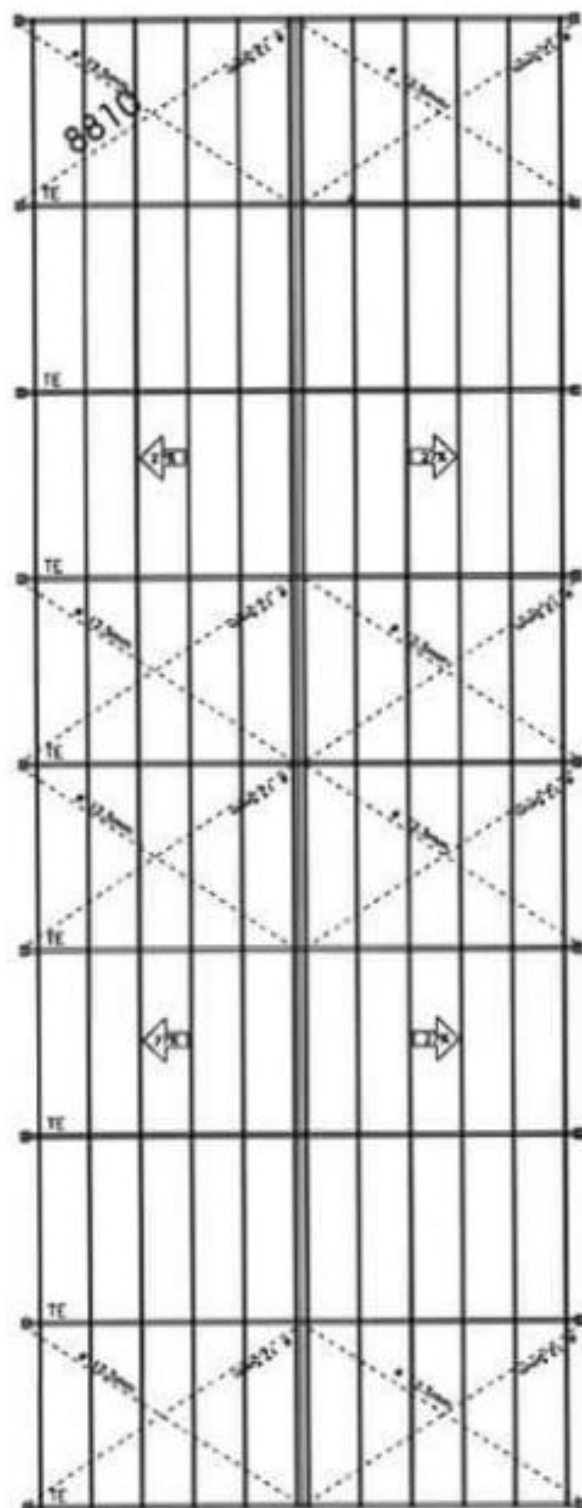
Bom, as partes que compõem a tesoura estão com suas quantidades calculadas. Faltam agora as terças e os contraventos.

Como o galpão é retangular, fica bem fácil calcular a metragem das terças, pois elas serão todas iguais. Portanto, precisamos saber apenas o tamanho de uma terça e multiplicar pela quantidade.

Nosso galpão tem 40000mm (40m) de comprimento, e como uma terça vai ao longo de todo o galpão, então essa será a medida de uma terça. Agora basta sabermos quantas terças serão usadas. Como vimos anteriormente, usaremos 10 terças (5 de cada lado).

Calculando:

40000 (tamanho) X 10 (quantidade) = 400000mm de perfis C 127X50X17 # 2,25
Em metros temos 400m.

Calculadas as terças, falta agora o cálculo dos contraventos. Vejamos como ficaria tal cálculo:

Para sabermos a quantidade de barras de ferro de 12,5mm (ferro de 1/2") que iremos utilizar nos contraventos, basta pegarmos a medida de uma parte de um X e multiplicarmos pela quantidade de barras a serem utilizadas, lembrando que cada X possui duas barras. Esse cálculo pode ser feito dessa forma, pois todos os vãos do galpão são iguais. Então temos:

8810mm de uma barra. Mas essa distância foi tirada horizontalmente, no papel, e como sabemos, os contraventos são colocados seguindo a inclinação do telhado. Portanto, devemos multiplicar essa medida por 1,05. Já que a inclinação do nosso galpão é de 27% (15,11°)

Ficando assim:

8810 X 1,05 = 9251mm de cada peça

Agora multiplicamos pela quantidade de peças.

9251 (tamanho) X 16 (quantidade) = 148016mm

Em metros: 148m

Ilustração dos contraventos no plano das terças

Finalmente estamos com todos os perfis do galpão calculados. Mas, há um pequeno problema. Estamos com medidas inteiras de cada perfil e, no mercado, esses perfis são vendidos em barras de 3000mm e 6000mm.

O que devemos fazer?

É simples: basta pegarmos essas medidas e dividí-las por 6000mm que é o tamanho da barra a ser comprada.

Neste galpão não utilizamos nenhum perfil cujo tamanho da barra é de 3000mm. Portanto, podemos dividir todas as medidas encontradas por 6000mm.

ø 20,0mm = 75600 / 6000 = 12,6 (13 barras)
C 250X85X25 # 4,75 = 216000 / 6000 = 36 barras
C 100X50X17 # 2,25 = 143000 / 6000 = 23,83 (24 barras)
C 100X50X17 # 3,0 = 140000 / 6000 = 23,33 (24 barras)
C 90X50X17 # 2,25 = 264000 / 6000 = 44 barras
C 127X50X17 # 2,25 = 400000 / 6000 = 66,67 (67 barras)
ø 12,5mm = 148000 / 6000 = 24,67 (25 barras)

Chapas lisas não são compradas em barras. Portanto não precisamos dividí-las.

230X300 # 10,0mm = 18 unidades
230X300 # 4,75mm = 18 unidades

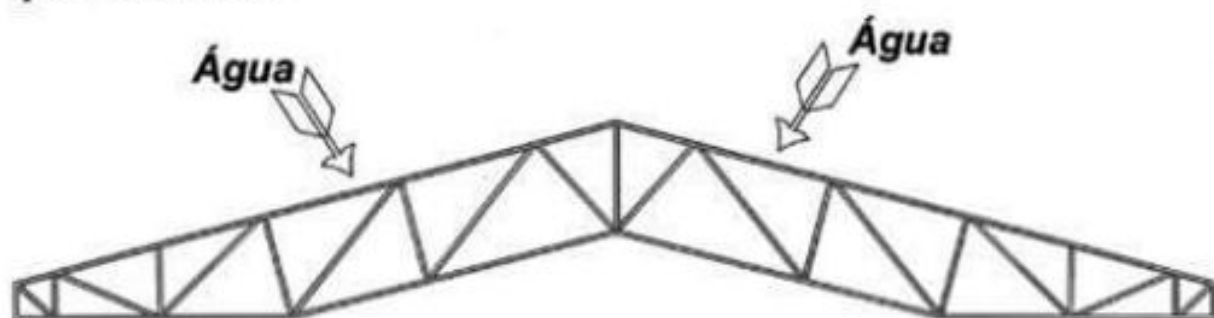
Pronto, agora sabemos quanto de aço MR-250 iremos gastar.

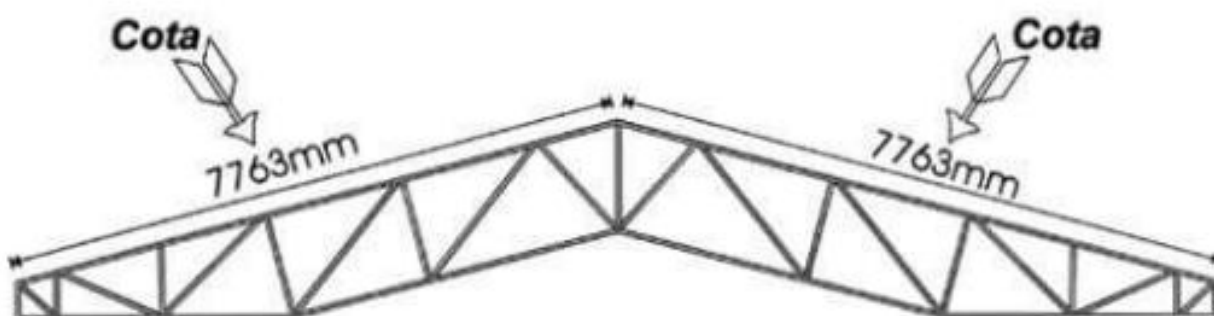
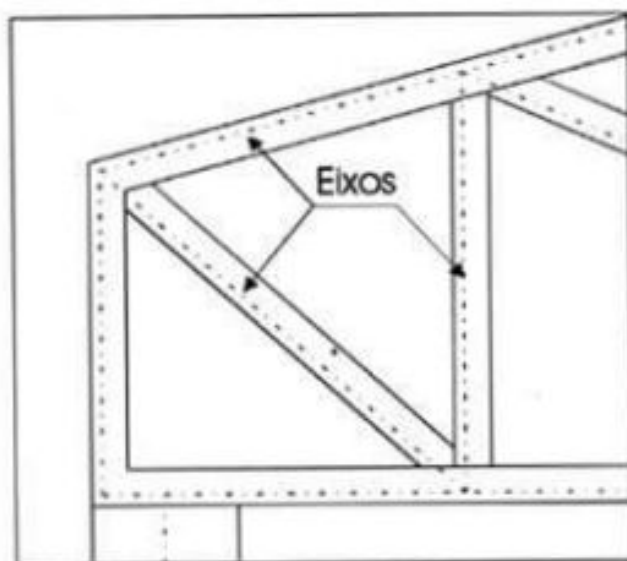
ø 12,5mm = 25 barras
ø 20,0mm = 13 barras
C 250X85X25 # 4,75 = 36 barras
C 100X50X17 # 2,25 = 24 barras
C 100X50X17 # 3,0 = 24 barras
C 90X50X17 # 2,25 = 44 barras
C 127X50X17 # 2,25 = 67 barras
230X300 # 10,0mm = 18 unidades
230X300 # 4,75mm = 18 unidades

NOTAS DE PROJETO

Vejamos alguns termos mais usados no ramo da construção, e que serão úteis para nossa familiarização com o meio.

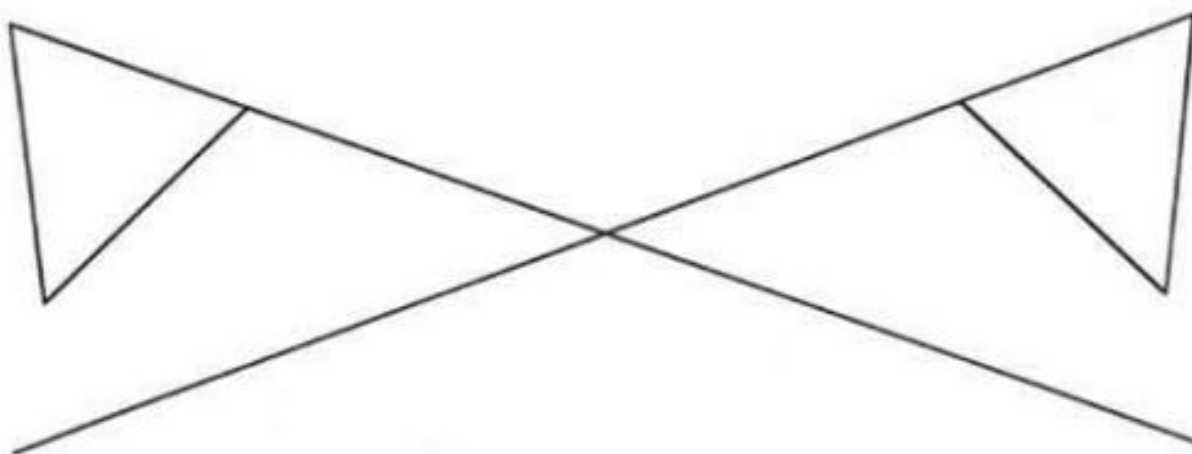
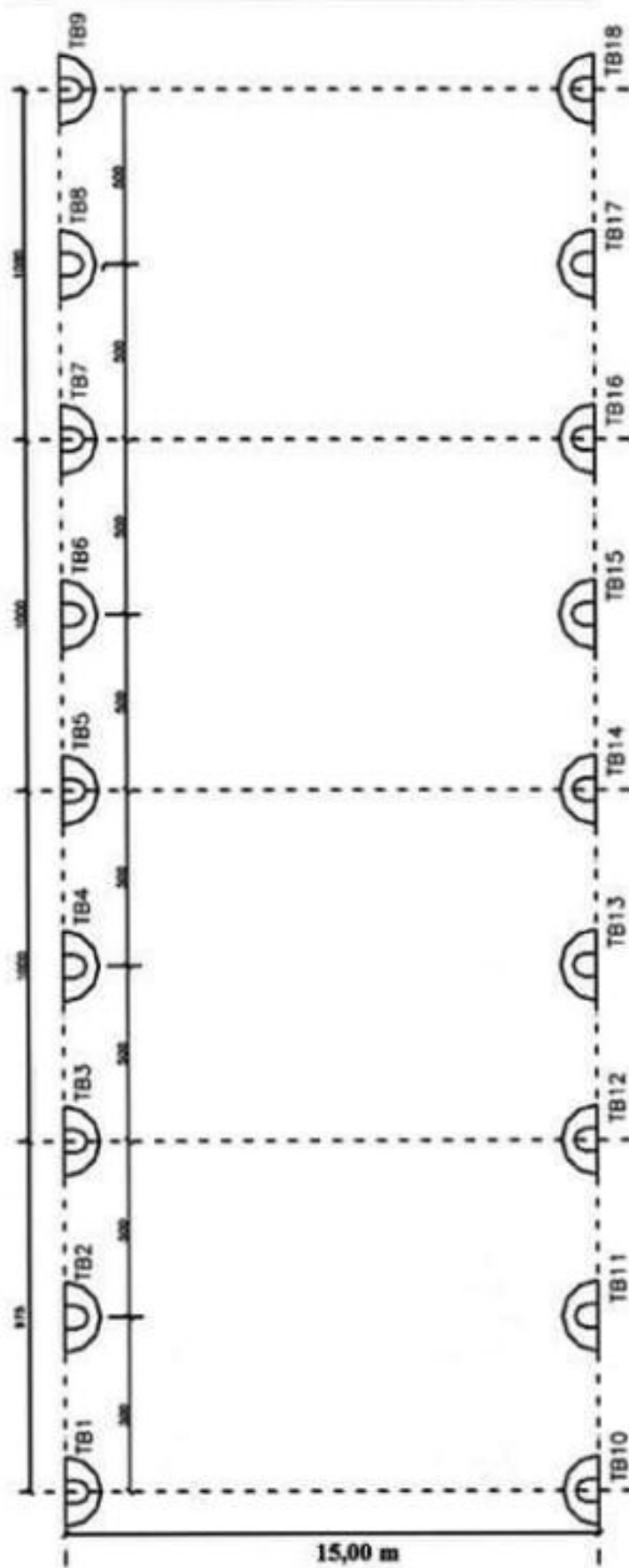
Escala: é a relação entre a medida que se encontra o desenho no projeto e a medida real da obra.

Água: em uma cobertura, chamamos de água a quantidade de partes inclinadas que a mesma terá.

Nosso galpão possui duas inclinações, portanto dizemos que ele possui duas águas.

Cota: É a representação de uma distância ou tamanho, no projeto

Eixo: Eixo são linhas imaginárias que usamos para marcar centros ou locais relativos a algum outro lugar. Quando traçamos uma reta que passa pelo centro de um pilar e depois pelo centro de outro, por exemplo, podemos dizer que essa reta é um eixo desses pilares.
Em estruturas metálicas, também utilizamos eixos para marcar o centro de massa dos perfis. Usamos esse centro de massa para cotar a distância dos perfis.

Para facilitar a forma de calcularmos a distância de um eixo à face externa do perfil, vamos arbitrar que esta distância é igual a 0,3 da largura do perfil. Por exemplo, no perfil C 100X50X17, a largura é 50.
Então, o eixo da peça ficará assim:

50 X 0,3 = 15mm

O eixo da peça será a 15mm da face externa do perfil.

Simetria: Dizemos que uma estrutura é simétrica, quando esta possui as medidas de um lado iguais às do outro, só que em sentido contrário. Quando tiramos a relação de material das diagonais, pudemos observar que as peças eram iguais, pegando de fora para dentro. A mais de fora de um lado, era igual a mais de fora do outro lado, e assim sucessivamente.

Nosso Galpão no Projeto

PLANTA BAIXA DA COBERTURA

10000 10000 t = C 127X50X17 CH 2,25 10000 10000

CALHA

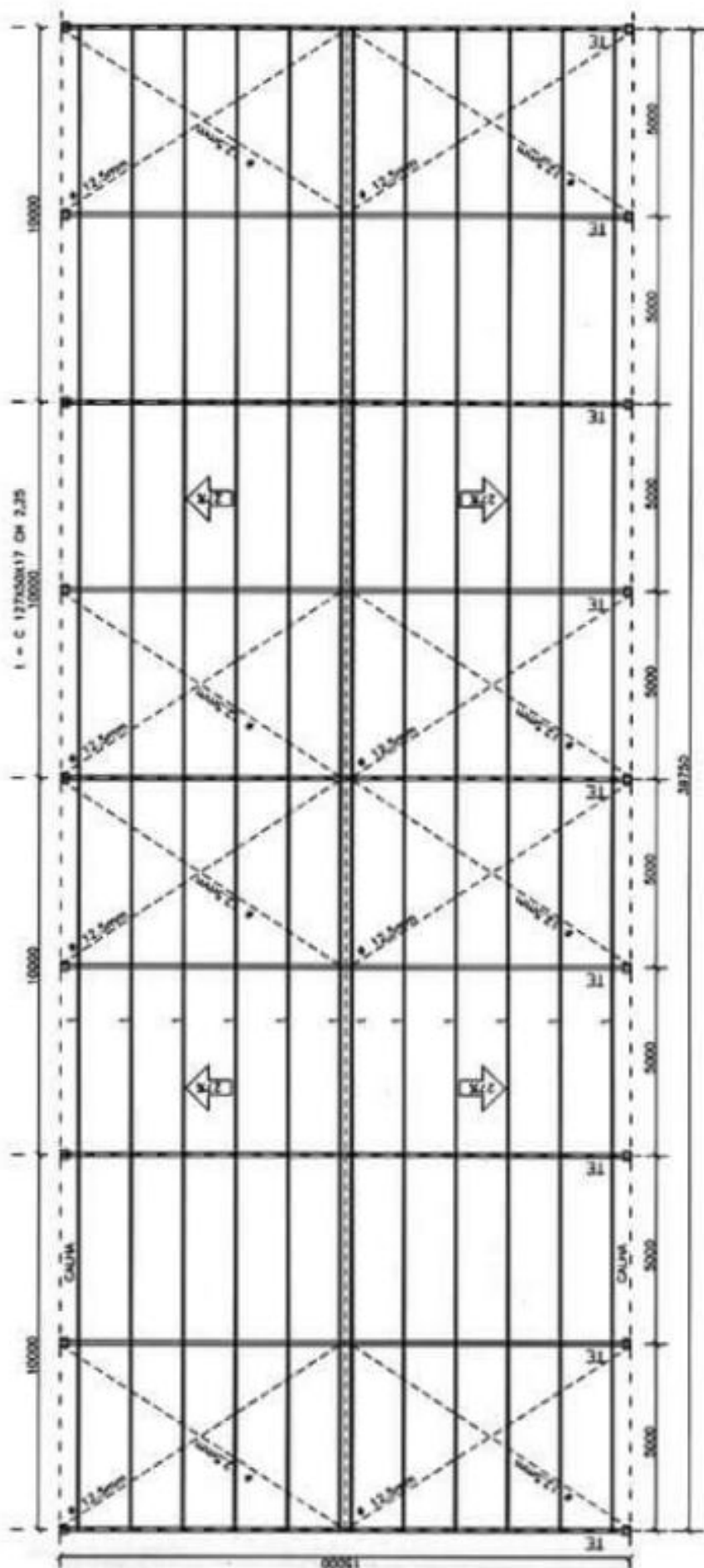
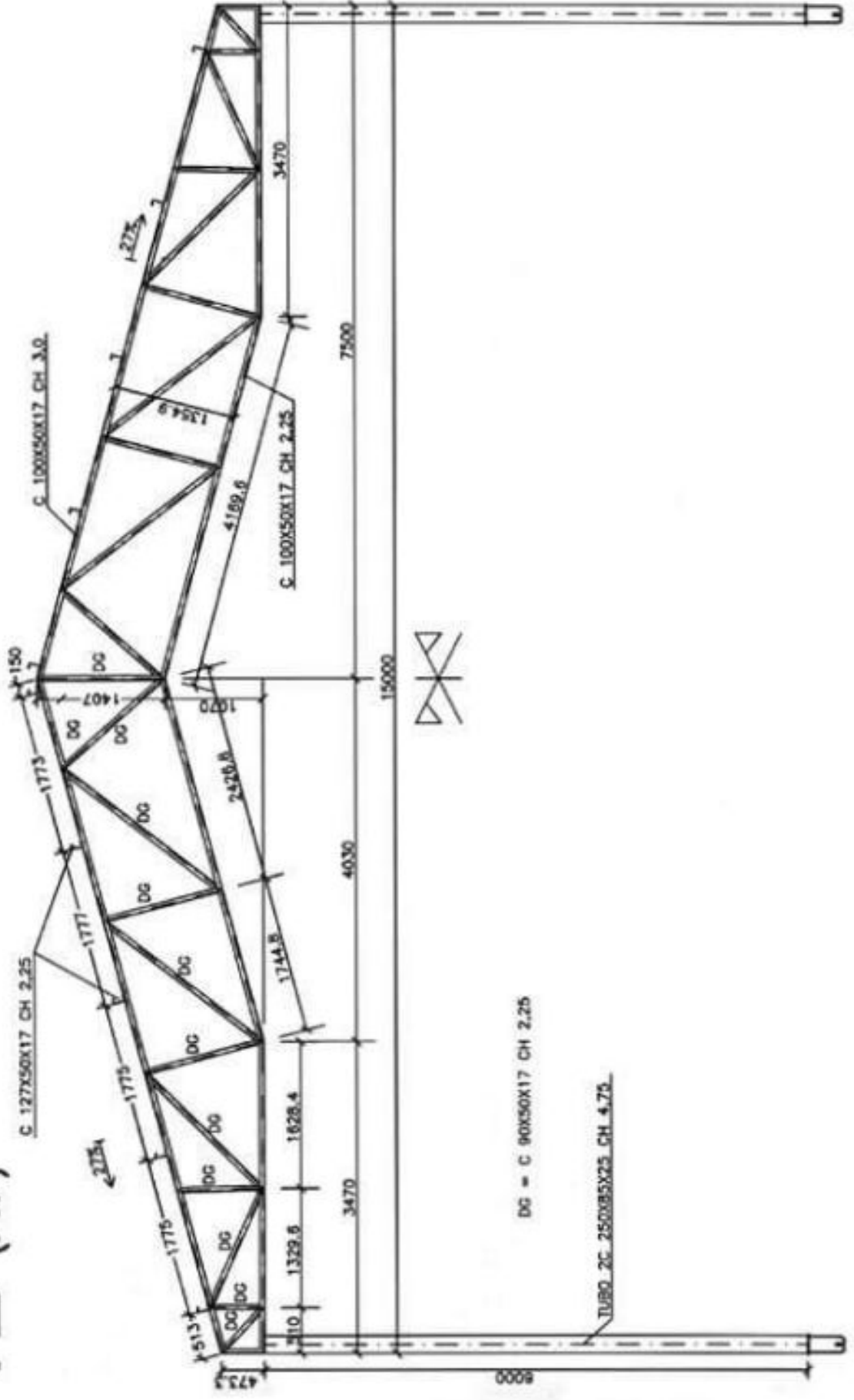
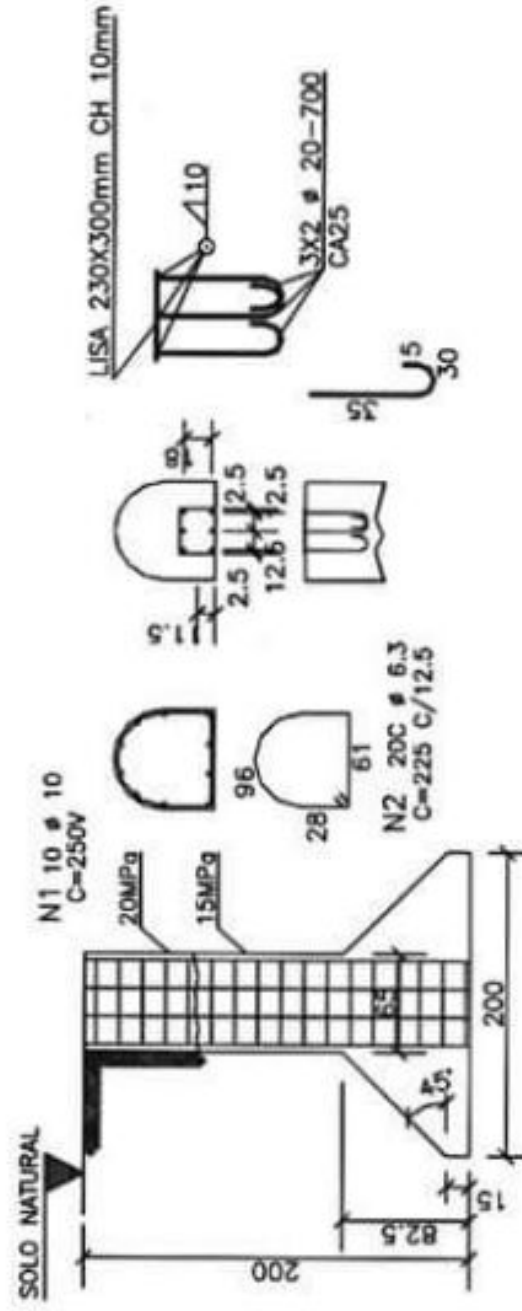
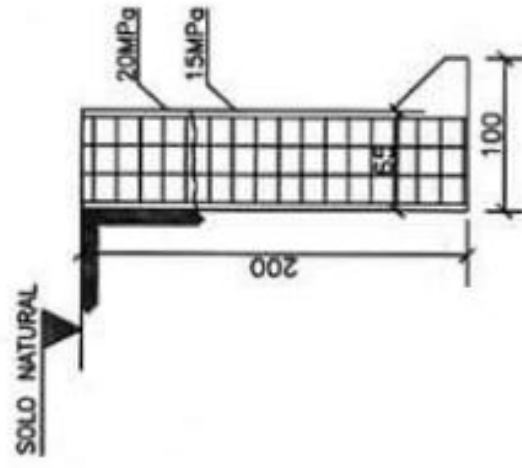
15000

TE

CALHA

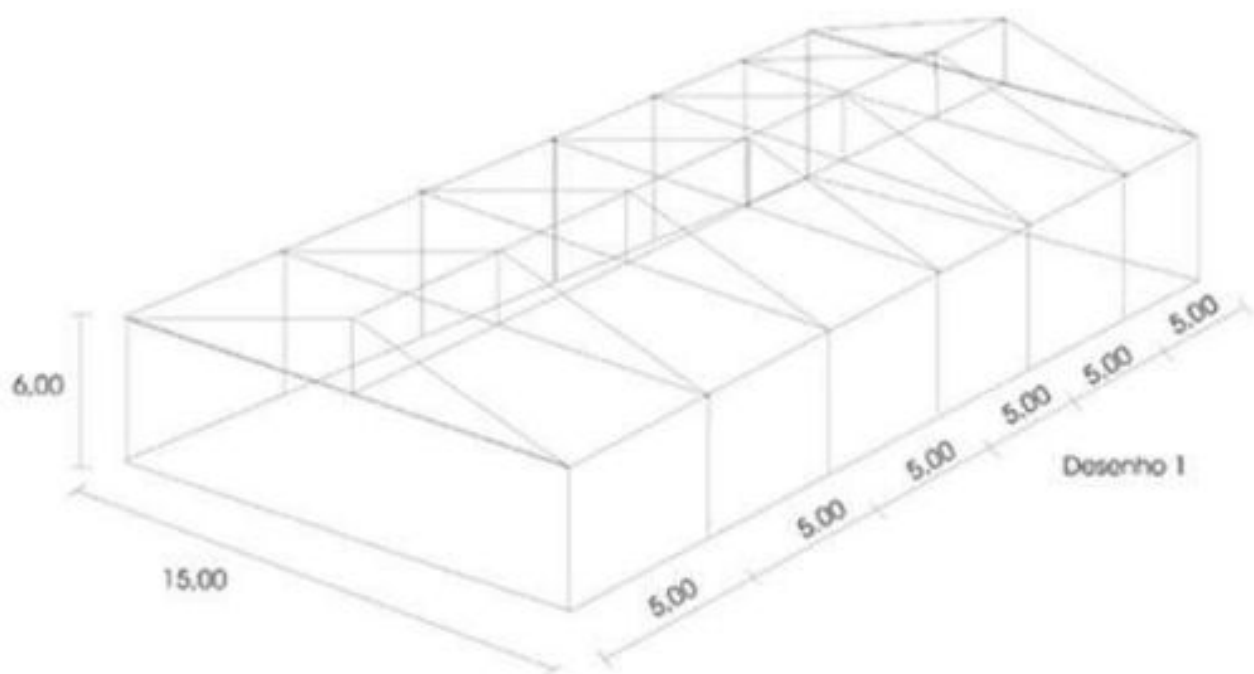
5000 5000 5000 5000 5000 5000 5000 5000

39750

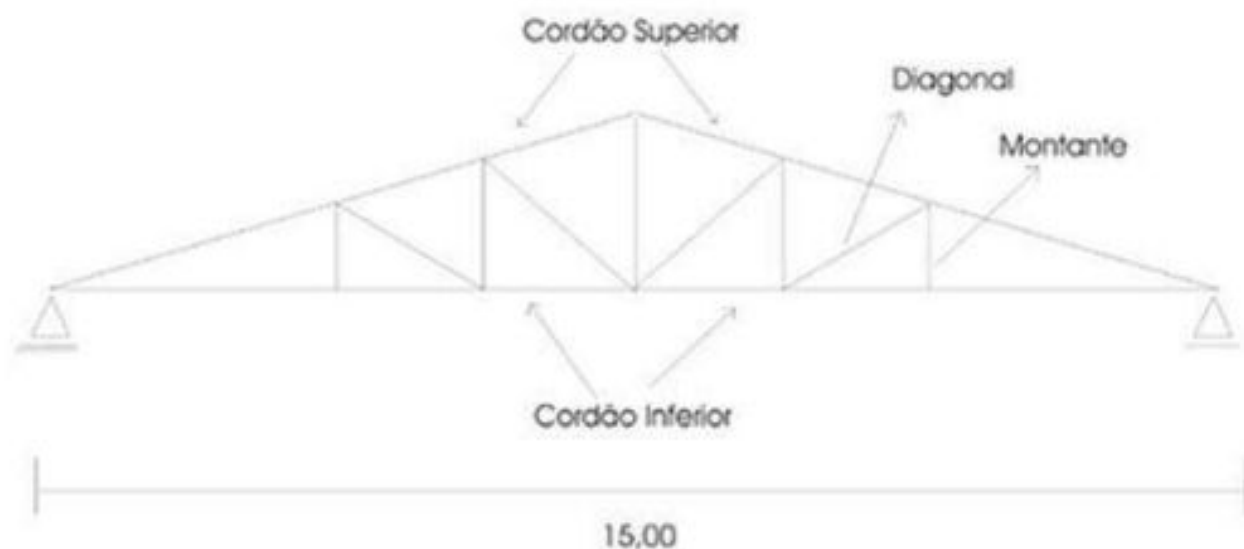
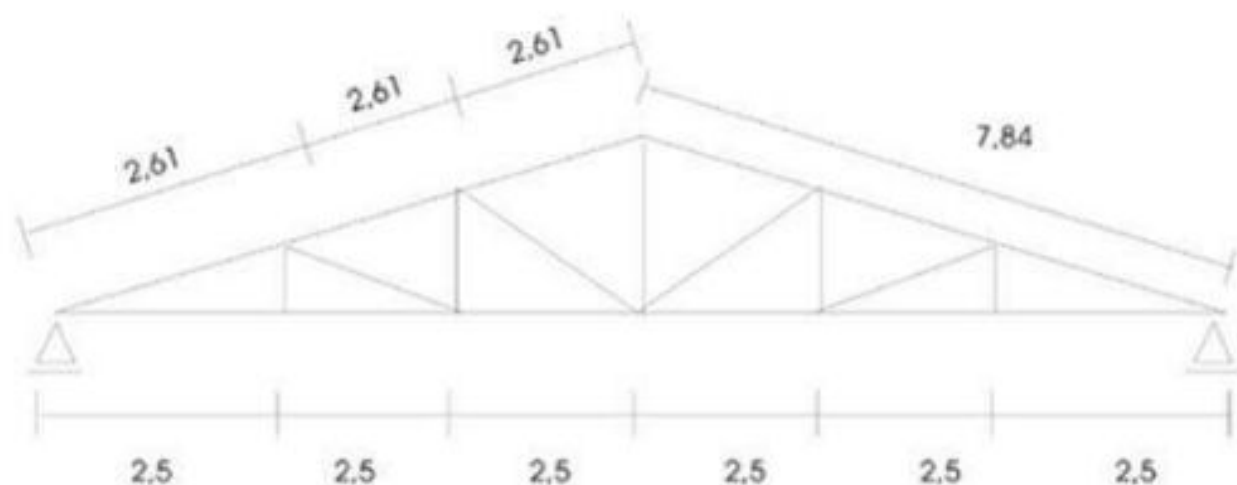
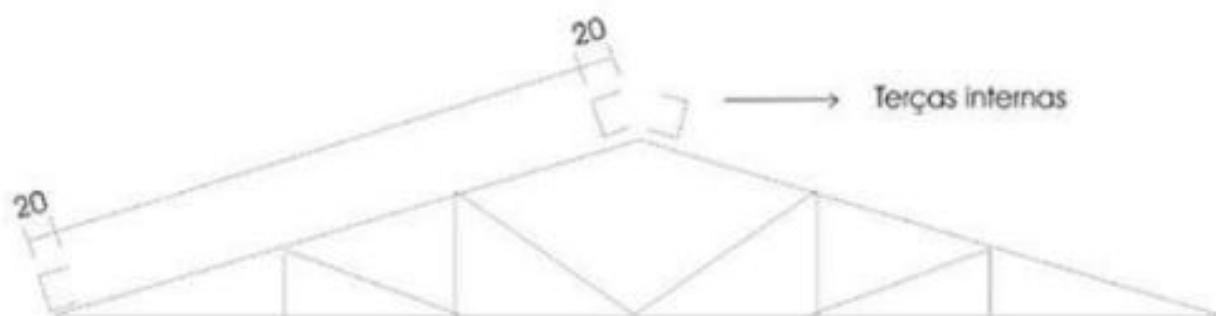
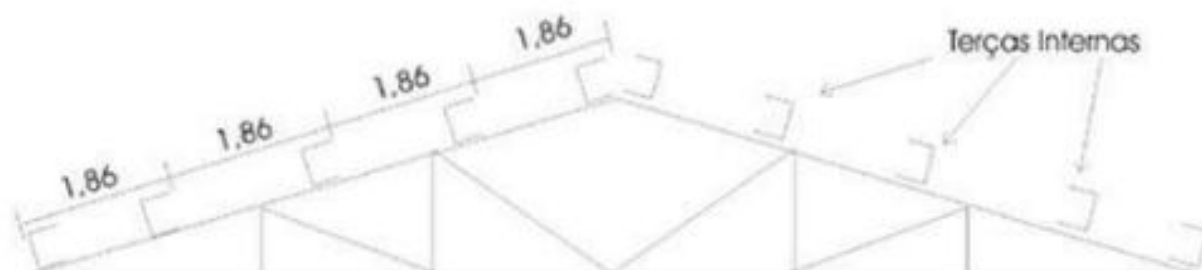
TE (X9)
C 127X50X17 CH 2,25
C 100X50X17 CH 3,0
C 100X50X17 CH 2,25
DG = C 90X50X17 CH 2,25
TUBO 2C 250X85X25 CH 4,75
513
1775
1775
1777
1773
150
1407
1354,9
4189,6
2426,8
1744,8
1070
473,3
510
1329,6
1628,4
3470
3470
4030
7500
15000
6000

PROJETO DETALHADO DE GALPÃO

(mesmas dimensões do galpão anterior)

Área Total	- 450,00 m
Vão Transversal	- 15,00 m
Vão Longitudinal	- 5,00 m
Nº de Longitudinais	- 6 un
Comprimento total	- 30,00 m
Altura	- 6,00 m

ESTRUTURA DO TELHADO
TESOURAS METÁLICAS

Como o galpão proposto para cálculo é de médio porte (15 x 30) m, o espaçamento entre colunas pode ser de 5 m, sendo que as tesouras, que apoiarão nas colunas, ficarão também 5 mentros equidistantes. Vide desenho 1.

O formato da tesoura

Sendo um galpão retangular e simétrico, podemos colocar todas as tesouras iguais. Isto facilita o projeto, e a execução da obra.
Vamos calcular uma tesoura treliçada de forma triangular, formada por cordões superiores e inferiores, montantes e diagonais.

Dividiremos a tesoura em 6 partes iguais em comprimento, e adotaremos 17º de inclinação em cada água.

Número de terças a serem usadas.
Fixamos duas terças a 20 cm das estremidades do cordão superior.

O espaçamento será igual a 7,84 - 0,40 = 7,44 dividiremos 7,44 em 4 vãos de 1,86. Portanto usaremos 3 terças internas e 2 externas com espaçamento entre terças será de 1,86.

Observação: 1) Poderíamos usar 4 terças, já que a telha que usaremos terá o comprimento do cordão superior, sem emenda, mas para fixar melhor a telha, optamos por 5 terças para combater melhor o vento da sucção.
2) Observe que as terças não coincidem com os nós da tesoura, portanto os pesos abosrvidos pelas terças terão de ser distribuídos nos nós do cordão superior.

Agora, passaremos no cálculos

1. Peso Próprio do Telhado

1.1 Temos que o peso das telhas + grampos + umidade é tabelado em 25 Kg/m^2.

a) nas terças externas rext = $\frac{25 \times 1{,}86}{2}$ = 23,25 kg/m

Obs.: (Nas terças externas só pega peso de um lado)

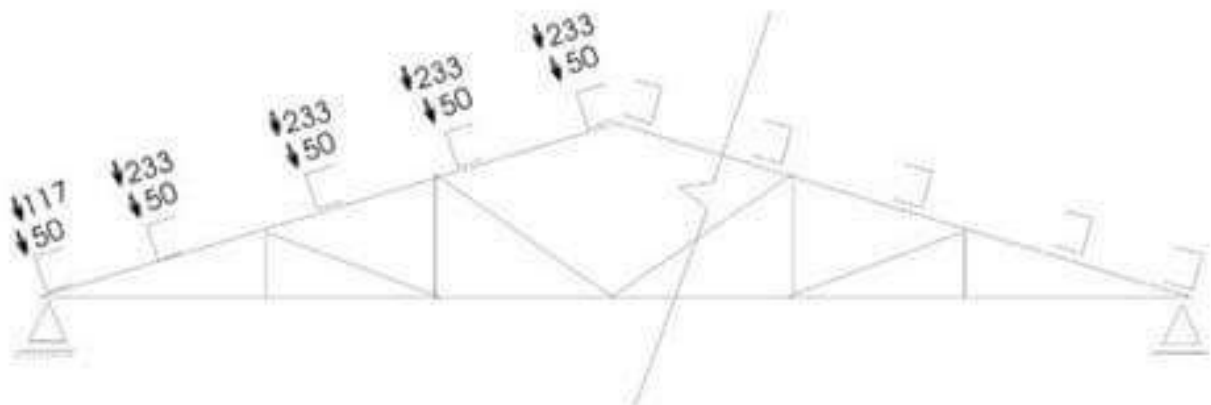
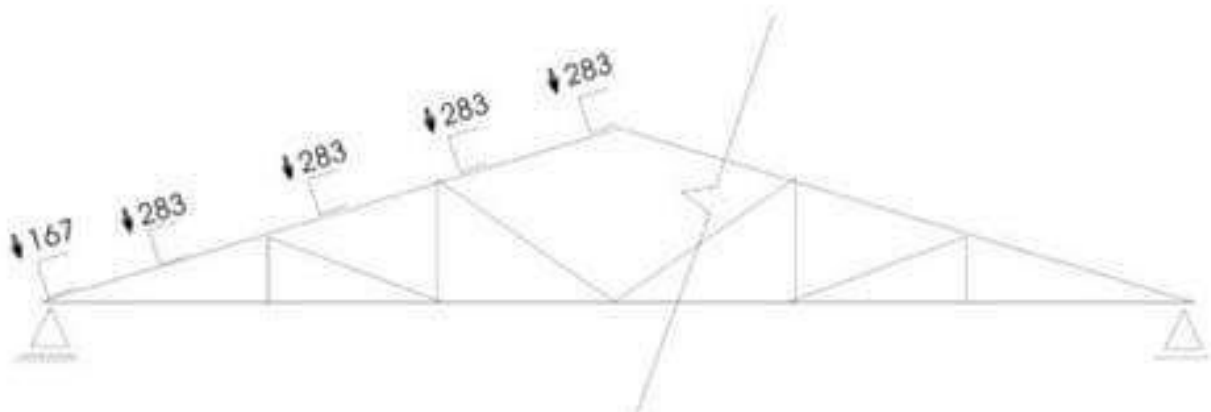
b) nas terças internas rint = 25 x 1,86 = 46,50 kg/m

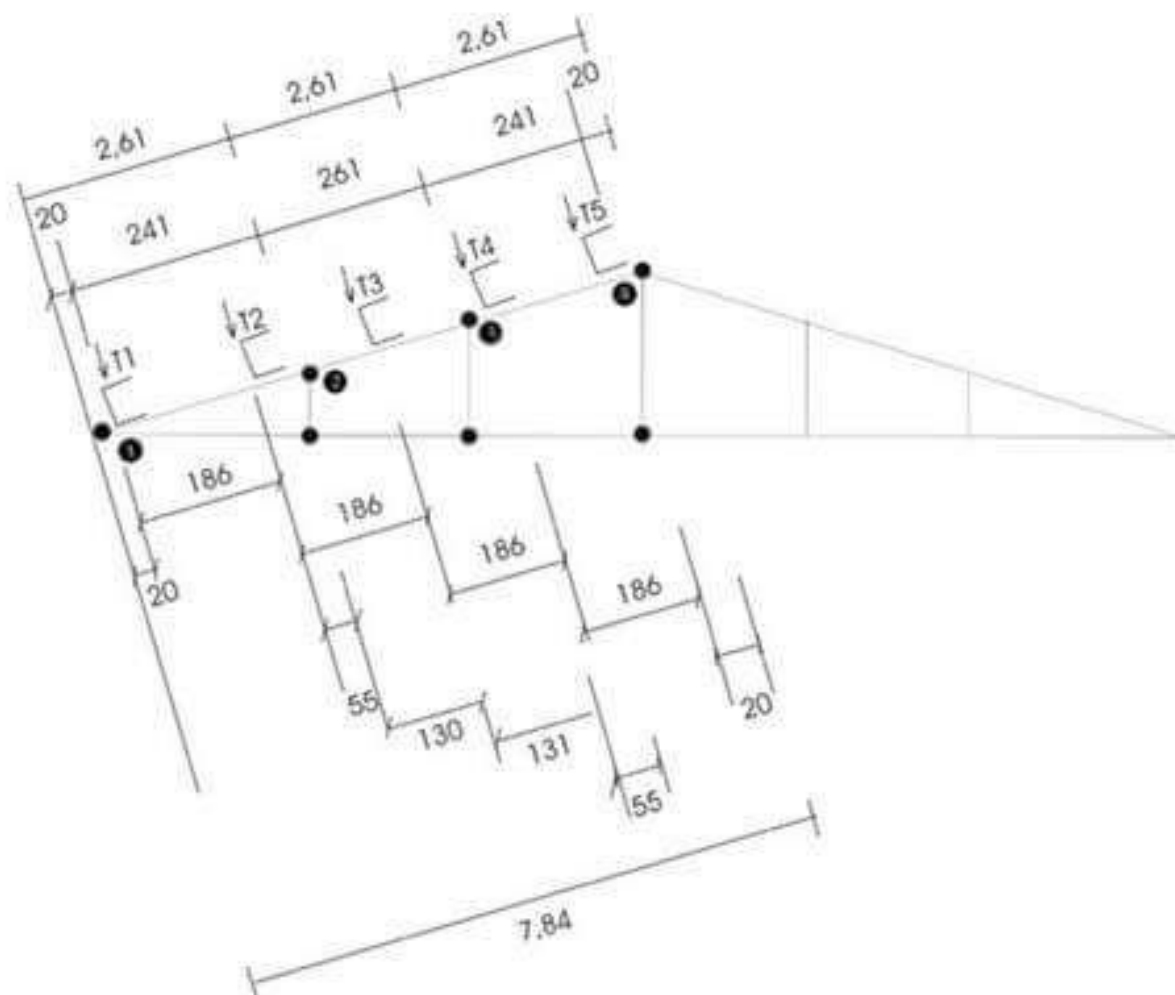
Ao longo das teçras, teremos:

A) nas terças externas gE = 23,25 x 5 m = 116,25 Kg
B) nas terças internas g = 46,50 x 5 m = 232,50 Kg

1.2 Temos que o peso próprio (q) das terças é de 10 kg/m

Ao longo da Terça, teremos: q = 5m x 10 Kg/m = 50 Kg

Com estes dados, montamos o diagrama do peso das terças + telhas, grampos, umidade etc.

Este diagrama acima, corresponde aos pesos de peso próprio das terças + peso próprio das telhas + umidade, grampo etc. Somando os pesos, teremos:

Como podemos constatar, o peso que o telhado transmite através das terças, não coincidem com os nós das tesouras.

Observe:

Distância dos nós, aos inferidos pesos das terças. (T1 T2 T3 T4 T5)

Como estas medidas, distriburemos os pesos proporcionais às distâncias dos nós. Faremos os cálculos a seguir:

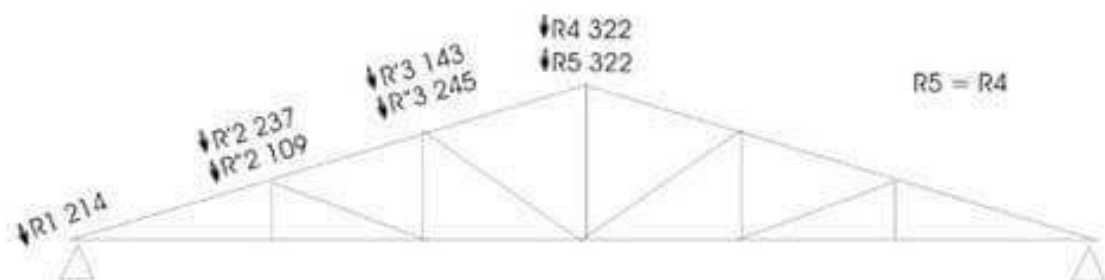
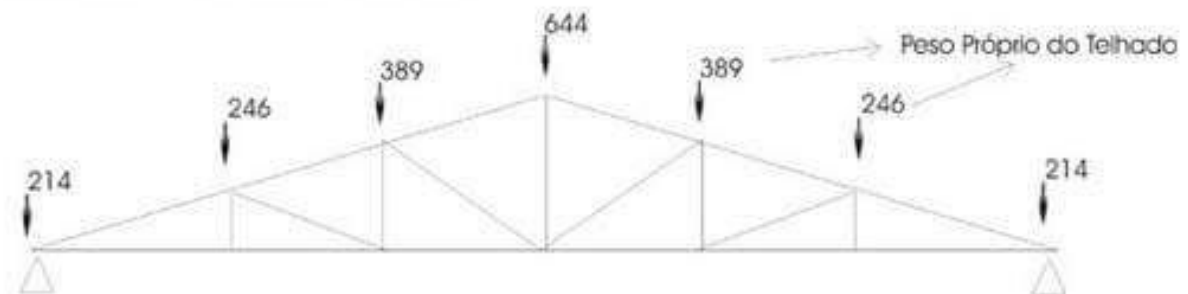
$$R1 = \frac{167 \times 2,41 + 283 \times 0,55}{2,61} = \quad 313,83 = 214 \text{ Kg}$$

$$R1 = \frac{283 \times 2,06 + 167 \times 0,2}{2,61} = \quad 236,16 = 237 \text{ Kg}$$

$$R''2 = \frac{283 \times 1{,}30}{261} = 108{,}42 = 143\ Kg$$

$$R'3 = \frac{283 \times 1{,}31}{261} = 142{,}04 = 143\ Kg$$

$$R''3 = \frac{283 \times 2{,}06 \times 283 \times 0{,}2}{261} = 245{,}04 = 246\ Kg$$

$$R4 = \frac{283 \times 2{,}41 \times 283 \times 0{,}56}{261} = 322{,}03 = 323\ Kg$$

Somando as resultantes teremos:

2.Agora, Calcularemos o peso próprio da tesoura:

Existem dois meios para calcular o peso da tesoura

1) o primeiro é quando você já conhece todos os dados da tesoura, tipo de perfil e bitolas. Neste caso você calcula extamente, através das tabelas, o peso das estrutura..

Como nós não temos ainda o material a ser usado, usaremos o método prático, que consiste do seguinte:

A norma diz que o peso próprio da cantoneira deverá ser 10 Kg/m.

A) cordão superior e inferior

(7,5 + 7,84) x 2 = 30,68 (metade da tesoura)

Tesoura inteira --> 30,68x2 = 61,36
61,36 x 10 Kg/m = 613 = 614 Kg.

B) hastes verticais

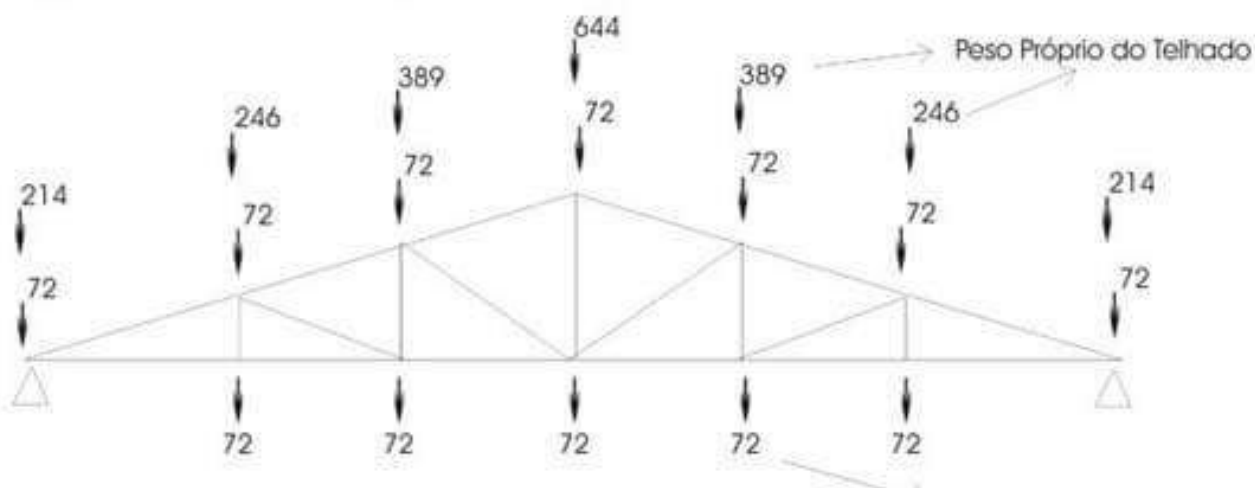
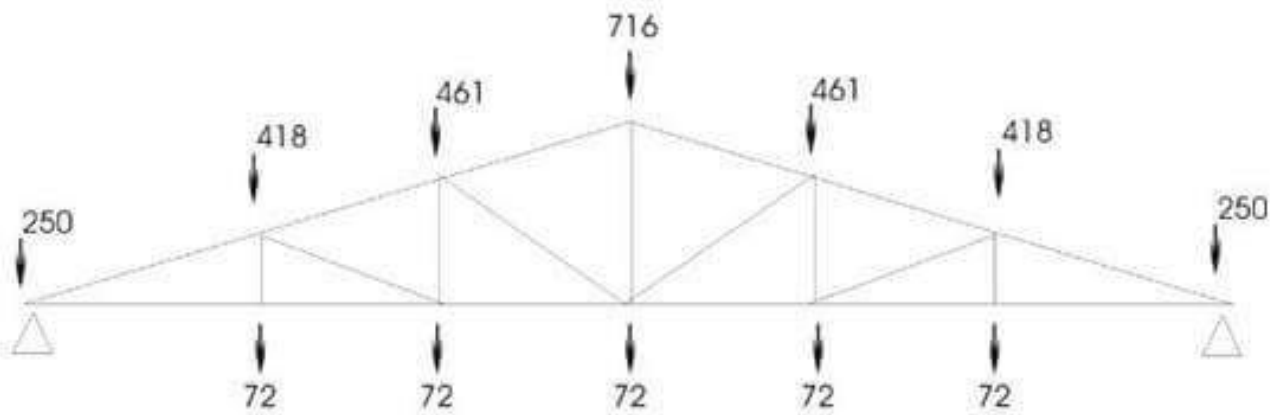
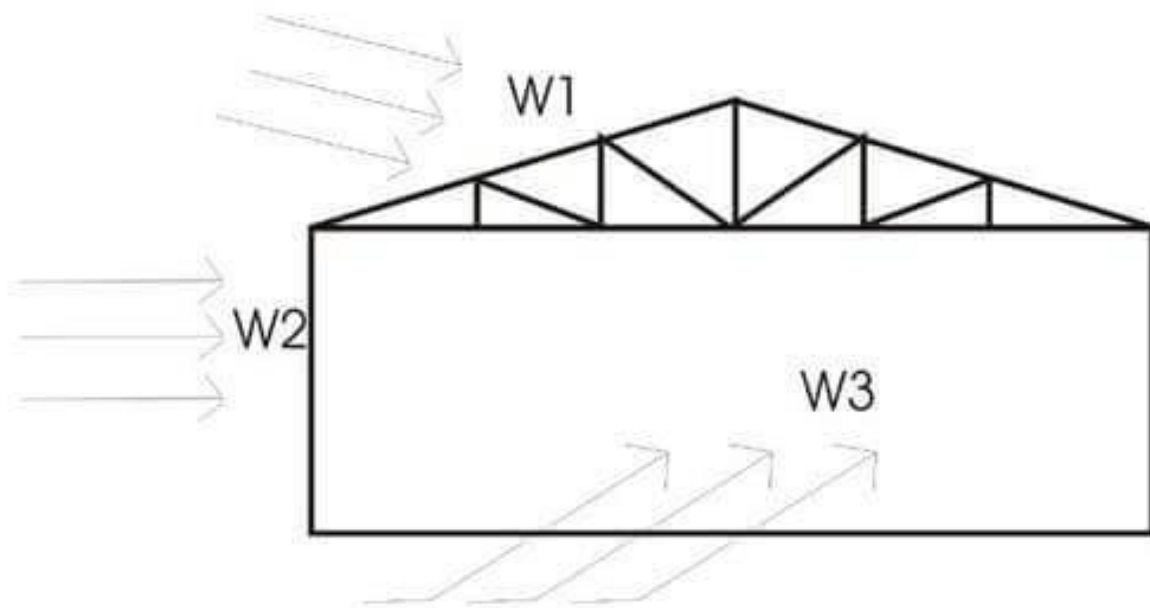
Temos 7,0 m de hastes verticais.
P = 7,0 x 10 Kg/m = 70 Kg

C) hastes inclinadas

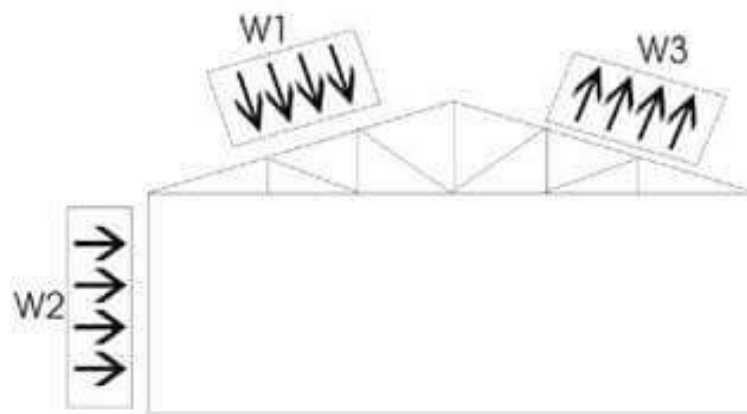
Temos 11,0 m de hastes inclinadas
p = 11 x 10 Kg/m = 110 Kg
peso total = 614 + 70 + 110
p+ = 794 Kg

Agora dividiremos nos nós

Na tesoura existem 12 nós, mas as extremidades, consideramos ½ nó.
Portanto temos 10 nós + 2 x ½ nó = 11 nós.
P+ = 794 / 11 = 72 Kg/nó.

Agora, somaremos estes pesos no diagrama anterior

Daí, teremos

Com este diagrama, concluímos o peso próprio.
Agora, calcularemos a ação do vento.

Existem 3 tipos de ventos

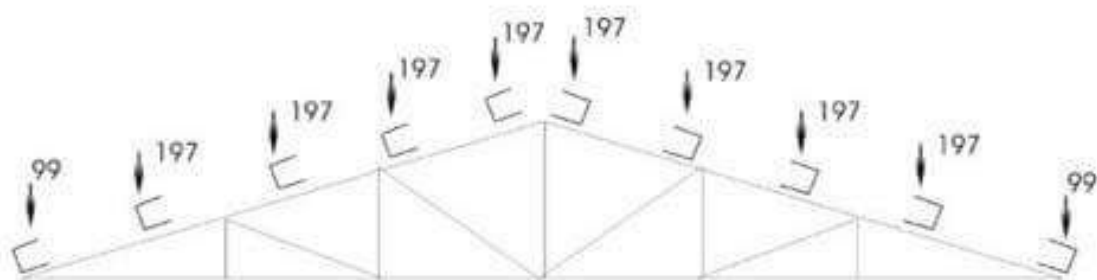
A) W1 --> vento agindo sobre o telhado para baixo
b) W2 --> vento agindo na lateral
c) W3 --> vento agindo no telhado para cima

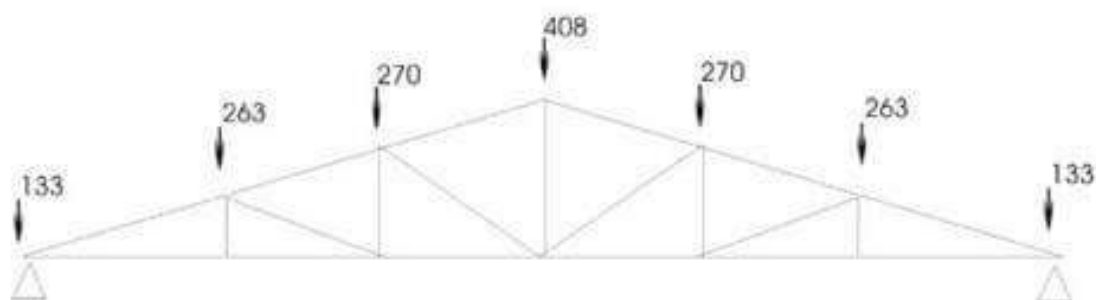
W1 e W2 serão chamados de vento global a esquerdo ou direito e W3 o vento de sucção.

3. Cálculo ao vento global esquerdo (W1)

W1 = C.g. Seu X

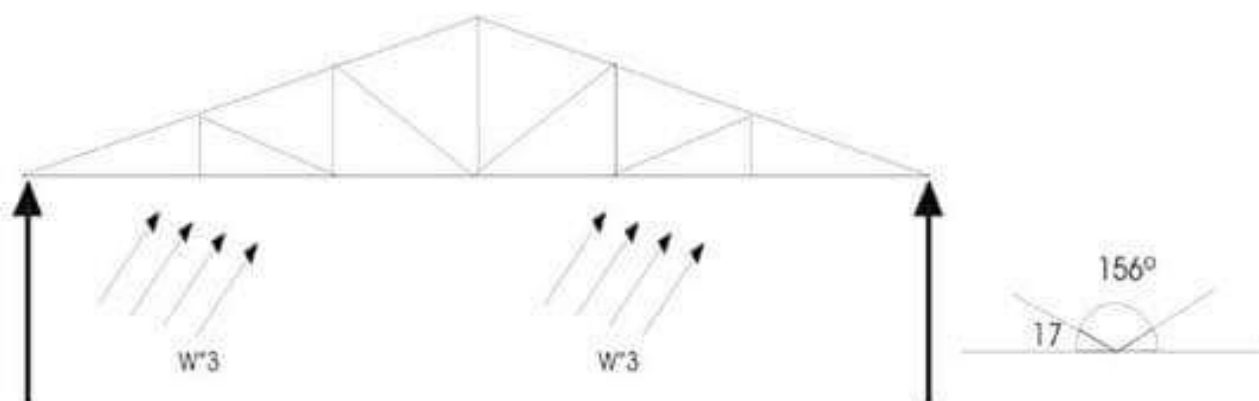
Sendo: C = 1,2 (coeficiente de forma pela norma é igual a 1,2)
G = pressão de obstrução
I1= ângulo de inclinação do telhado

Obs.: g é função da altura da estrutura
para telhado abaixo de 6 m → 50 Kg/m²
para telhado de 6 a 20 m → 60 Kg/m²
que é o nosso caso.
W1 = 1,2 x 60 x sem 17º

W1 = 21,1 Kg/m²
Sobre as terças, teremos:
Tint = 21,1 x 1,86 x 5,0 = 196,23 197 Kg/m²
Text = 21,1 x 1,86 x 5,0 = 98,115 99 Kg/m²

Este diagrama anterior, representa as cargas de vento agindo na Terça. Como as terças não coincidem com os nós, teremos que distribuí-las nos nós, conforme fizemos com o peso próprio da estrutura.

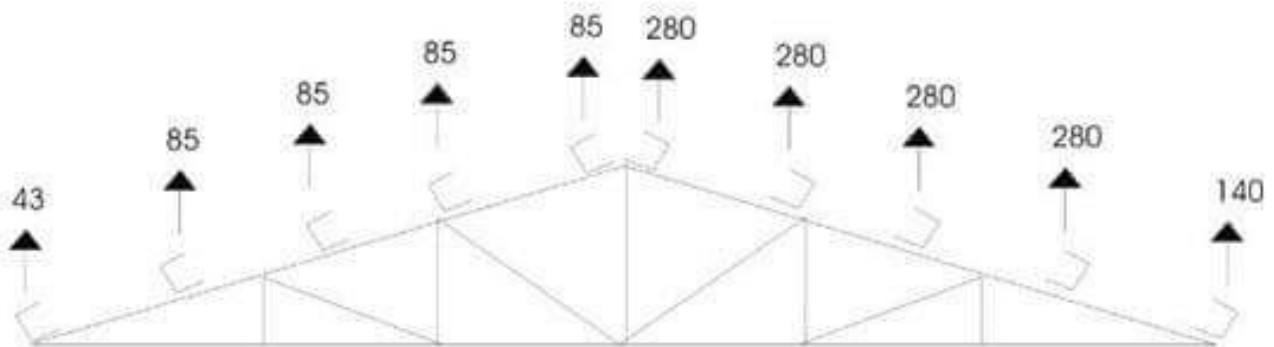
Após os cálculos, que estão no apêndice de cálculos, encontramos as seguintes forças.

E assim, temos o diagrama de vento global a esquerda.

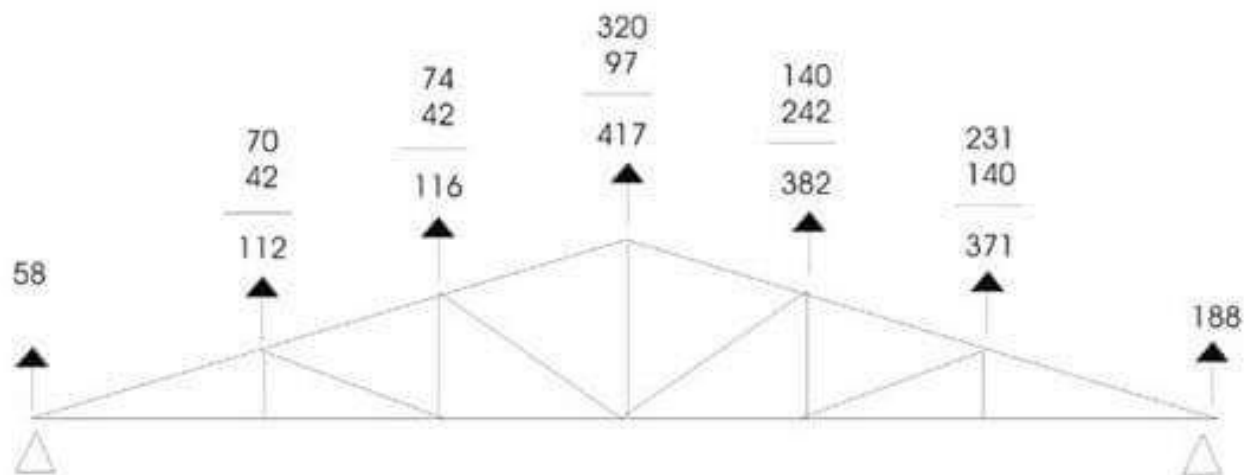
4. Vento de Sucção a Esquerda

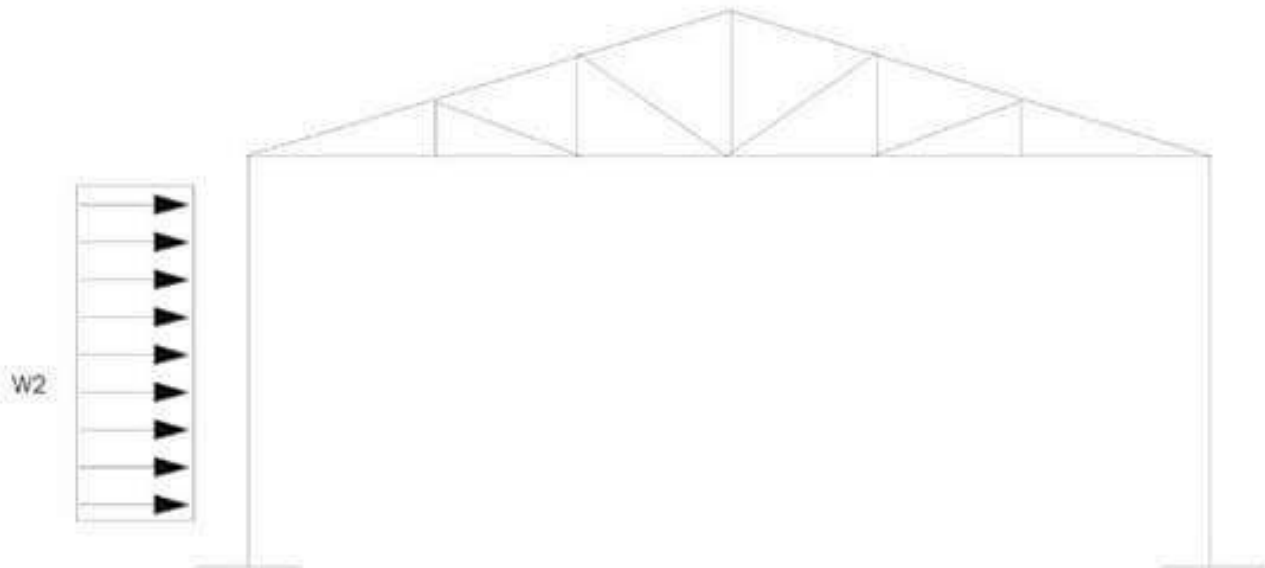
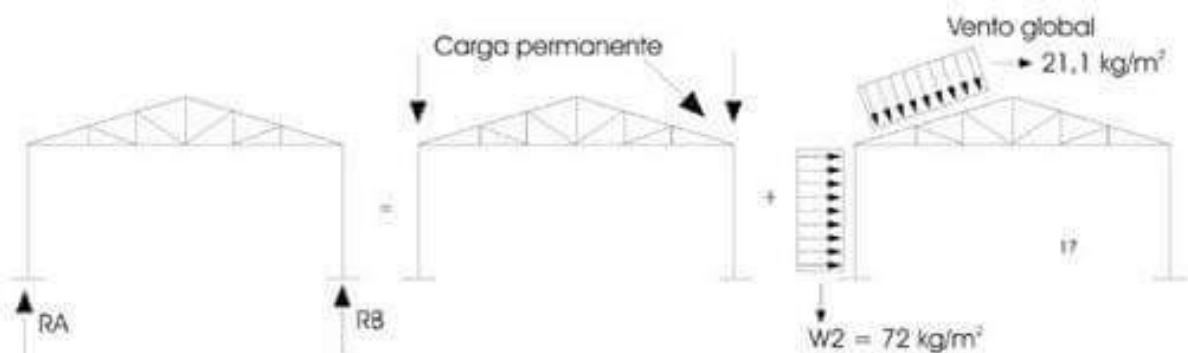
O vento de sucção é aquele que penetra no interior do galpão, e tende a levantar o telhado.
Ele é calculado pela formula:
W'3 = (1,2 seu - 0,5) q
Sendo q = pressão de obstrução (para o nosso caso q = 60 Kg/m^2)

Pela formula (W'3 = 1,2 seu - 0,5) q. podemos observar que:
Quando (1,2 seu) for <u>maior</u> que 0,5 W'3 será positivo
neste caso W'3 tem a direção de cima para baixo.
Quando (1,2 seu) for <u>menor</u> que 0,5 W'3 será negativo neste
caso W'3 tem direção de baixo para cima.

No nosso caso:
W'3 (1,2 seu 17º - 0,5) 60 = - 8,95 - 9,0 g/m
W'3 é negativo, portanto o vento age do baixo para cima.
W"3 = -0,5x60 = - 30 g/m^2
W'3 = Vento agindo lado esquerdo, é mais ameno
W"3 = vento agindo lado direito do telhado e é mais forte
Agora, calculamos estes ventos ao longo das terças internas e externas.
W'3ti = 9 x 1,86 17 Kg/m
Ao longo da Terça interna 5 x 17 = 85 Kg
Ao longo da Terça externa<u>5 x 17</u> 43
2
W"3ti = 30 x 1,86 56 Kg/m
W"3te = <u>30 x 1,86</u> 28 Kg/m
2

Ao longo da terça interna 56 x 5 = 280 Kg
Ao longo da terça externa 28 x 5 = 140 Kg

Assim, teremos o seguinte diagramar

Novamente, teremos, que distribuir os pesos das terças no nós.
Os cálculos, estão na pg. 2 de cálculos.

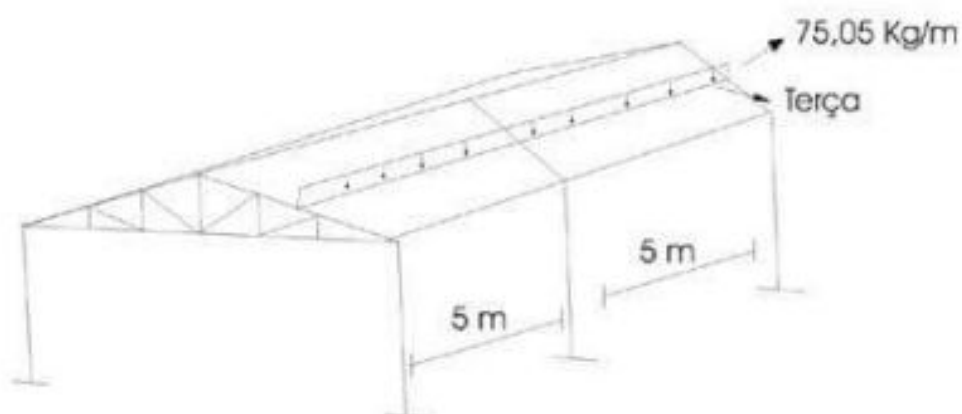
Após os cálculos, temos o seguinte diagrama.

Obs.: Para o vento de sucção a direita, é só inverter as forças.

3. Agora calcularemos o vento lateral (W2)

Agora, já que calculamos os esforços de ventos, peso permanente e sobrecargas, conjugaremos estes esforços juntos, para sabermos as cargas dos pilares e fundações:

A carga permanente inclui o peso próprio das telhas, terças, grampos, tesoura e sobrecargas como umidade e cargas acidentais, tais como, pessoas andando sobre o telhado, para manutenção, etc.
Existe um método prático para avaliar a carga permanente, e é o que o faremos pois é seguro.

A fórmula é a seguinte

G = 11 p
G = peso próprio
P = tabelado = 20
11 = L x l
Sendo L = não transversal L = 15 m
l = longitudinal l = 5 m
portanto
G = 15 x 5 x 20 = 1500 Kg
As reações nos pilares, são calculados através da fórmula:

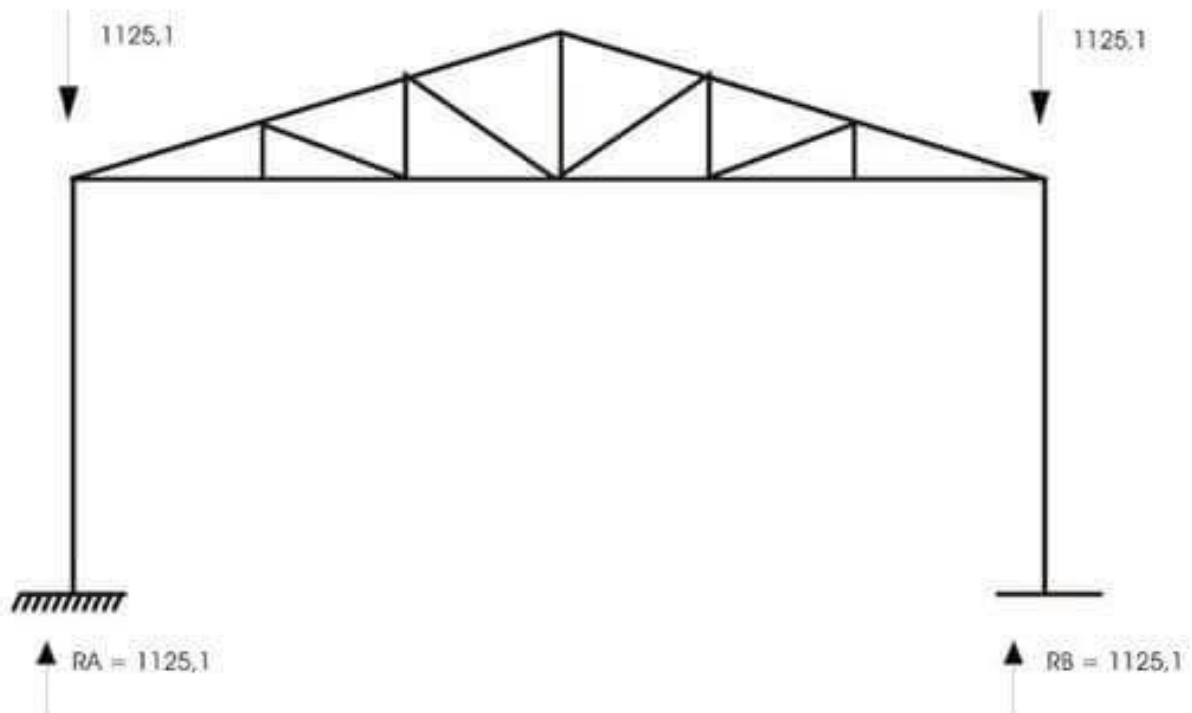
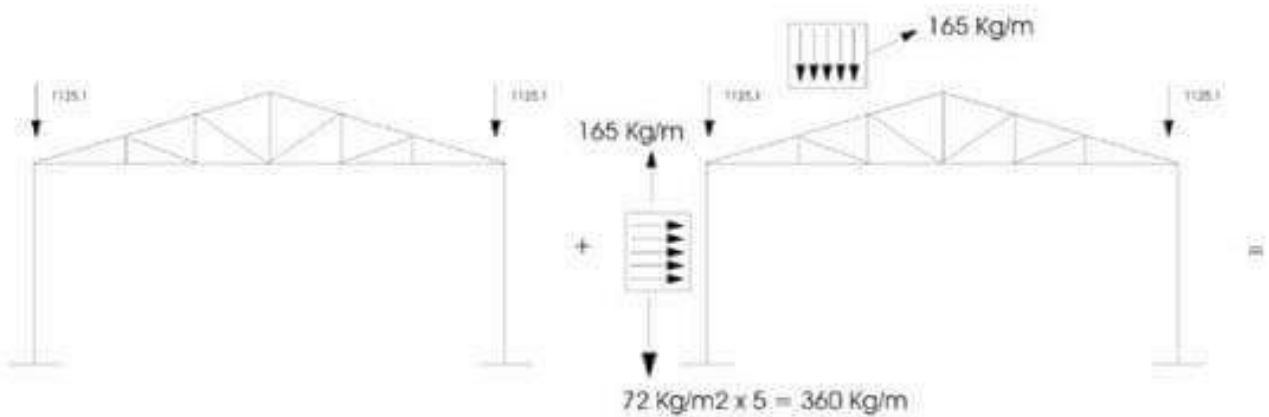
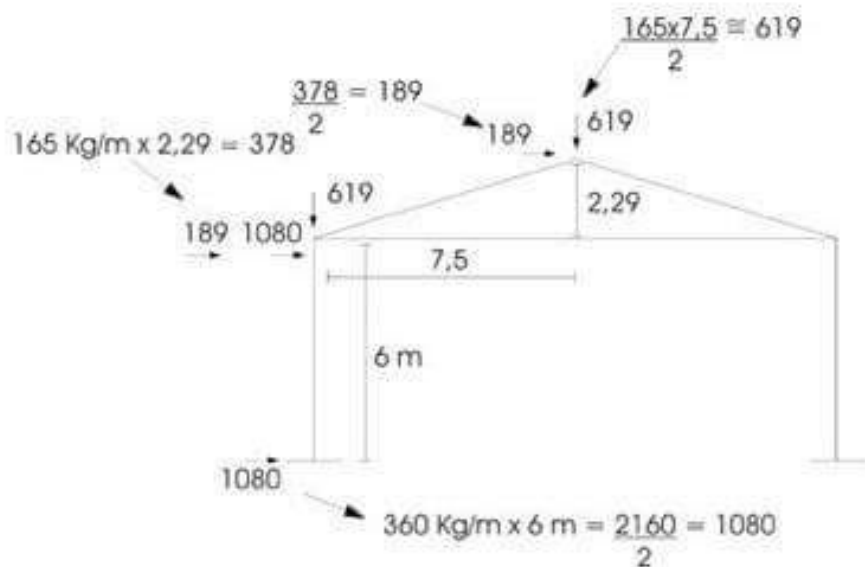
$$RA = RB = \frac{G}{2} + n^{o}\ \text{terças x carga permanente}$$

Carga permanente = peso próprio da Terça + q
Cp = 10 Kg/m x 5 m + 15 x 1,67 = 50 + 25,05 = **75,05 Kg/m**

Reação = R = 75,05 x 5 m = 375,1 Kg.

$$RA = R\ \text{de todas as terças} + \frac{G}{2}\ \text{peso da própria tesoura}$$

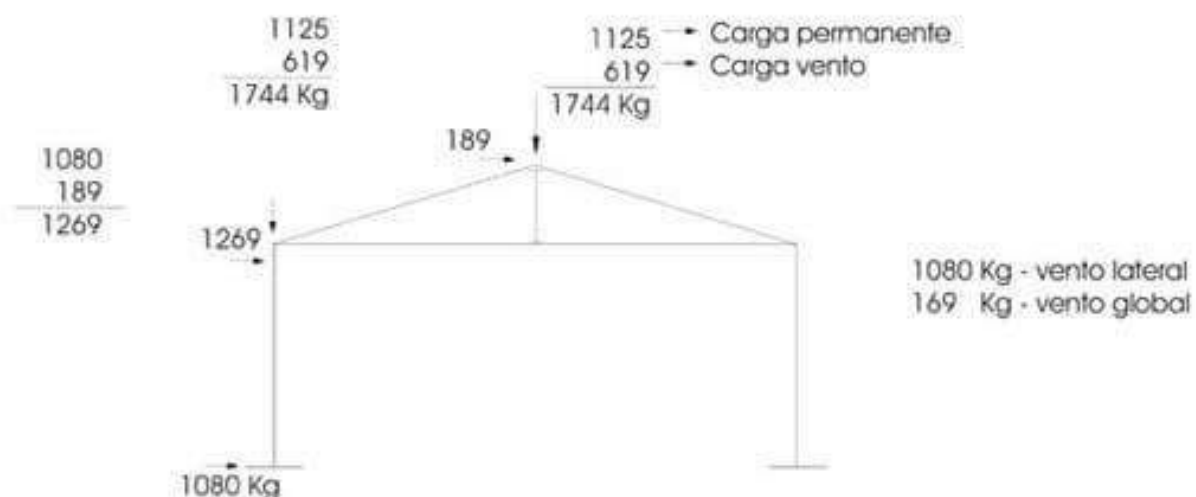
$$RA = 5 \times 75{,}02 + \frac{1500}{2}$$

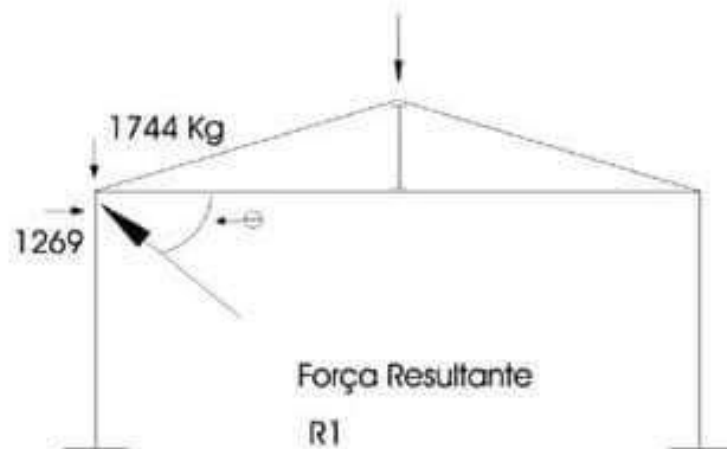
RA = 1125,1 Kg = RB

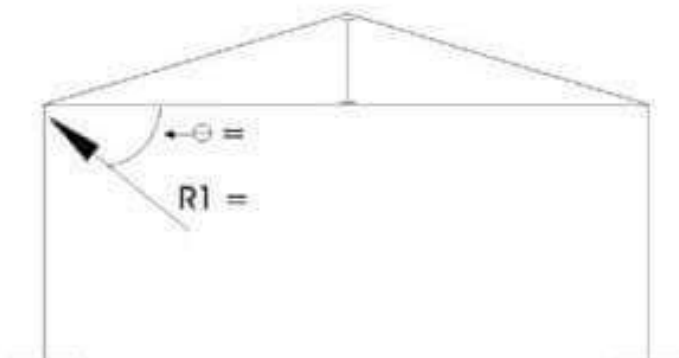
Assim, teremos o seguinte diagrama:

Agora, passaremos a conjugar as cargas
1) carga permanente + vento global

Temos no diagrama (1) a representação da carga permanente e no diagrama (2), transformaremos a carga atuante, em forças que vão agir nas extremidades das vigas e colunas, daí, teremos:

Explicando:

O vento global, age forçando a telhada para baixo com a força de 619 Kg e para o lado com 189 Kg.

O vento lateral, força a coluna com a força de 1080 Kg para a direita, quando age para esquerda.

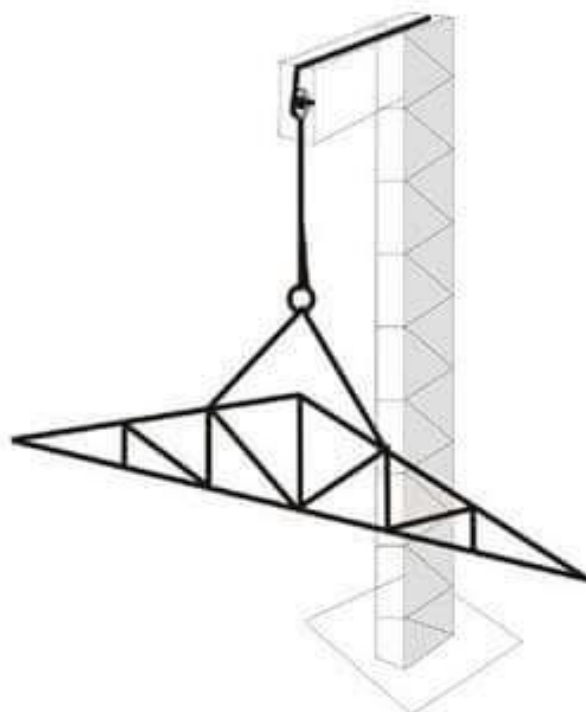
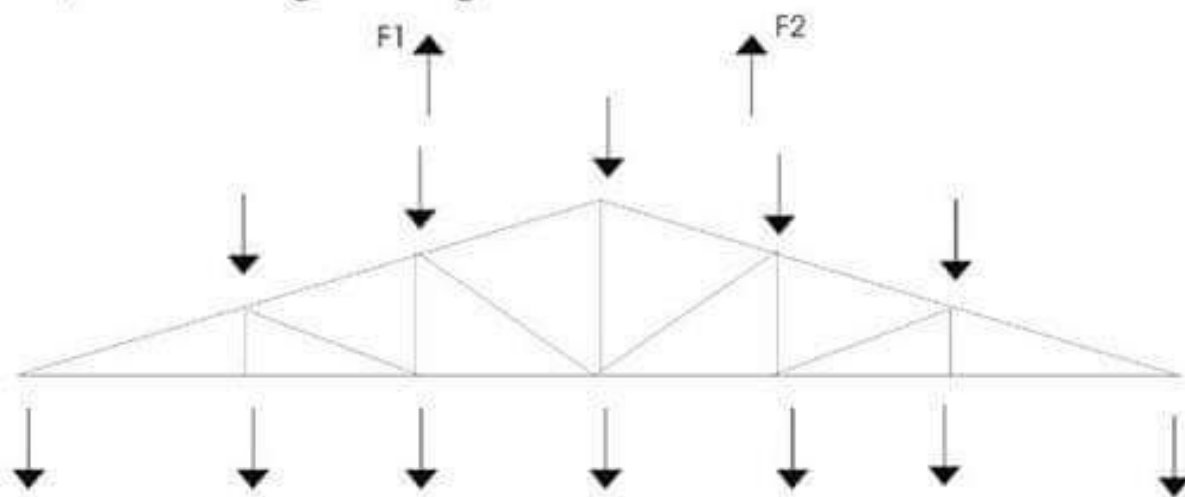
Somando as cargas permanente + vento, teremos:

Neste ponto, poderemos calcular a força resultante que vai agir para combater tal combinação, na ponta superior da coluna.

Temos que:

Na ponta do pilar, a combinação de peso permanente + vento, resulta em uma força agindo da esquerda para direita e isto gera uma reação R1, que age no ângulo O e esta reação é calculada da seguinte forma, exposta noapêndice de cálculos.

Daí temos que R1 =
O =

Agora, calcularemos a carga de montagem.

A carga de montagem, é a força que vai agir no nós da tesoura, quando ela for içada por um guindaste, no momento de sua montagem.

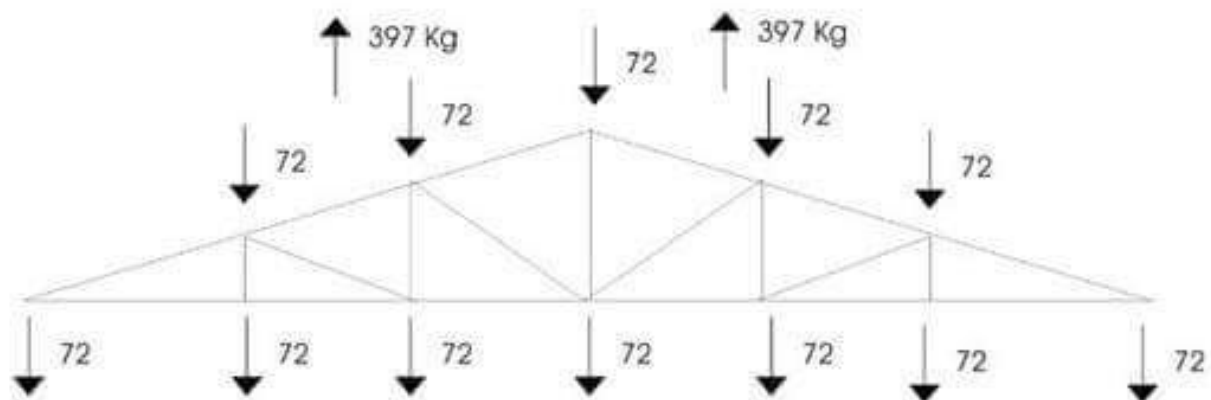
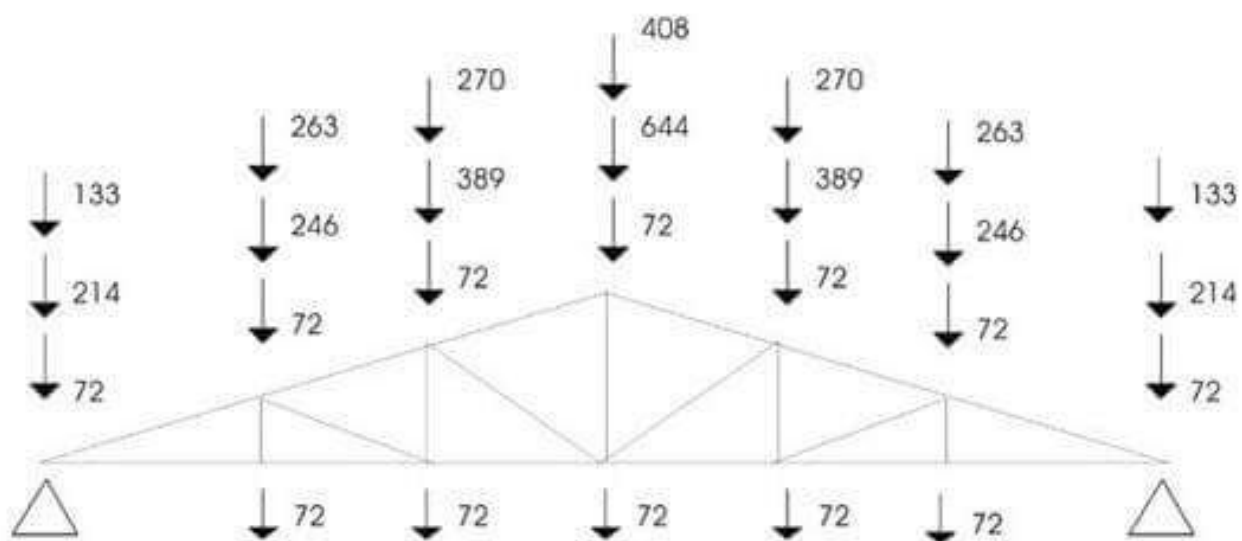
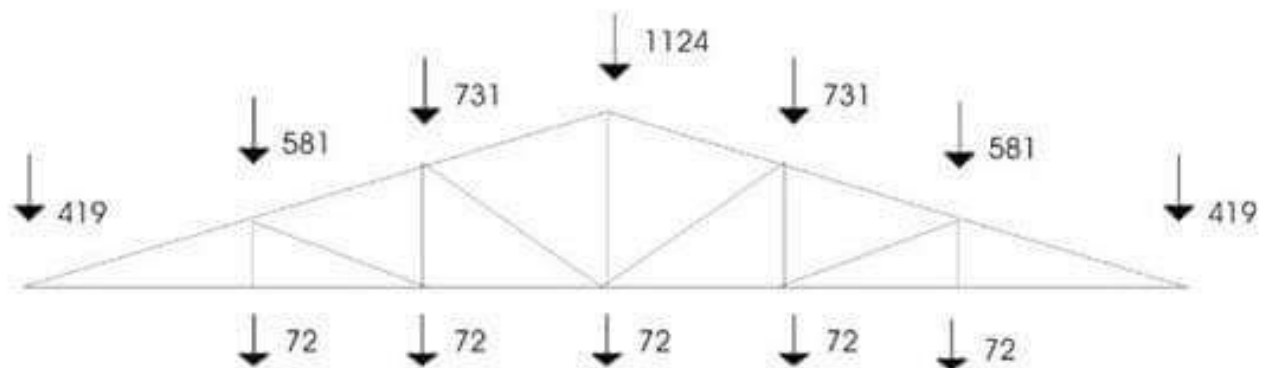
Esta força se concentra em 2 nós preveamente escolhidos.

Exemplo:

Daí, teremos o seguinte diagrama:

Portanto, a carga de montagem, nada mais é do que o peso próprio da tesoura.

O peso próprio da tesoura é de 794 Kg.

Este peso será dividido em 11 nós, sendo os dois da extremidade, considerados só metade.

$\frac{794}{11} = 72$ Kg $\frac{794}{2} = 397$

Daí, vem o diagrama:

Agora, já conhecemos todas as forças que agem na tesoura, o próximo passo é saber as tensões suas peças de tesouras para isto, montamos a tesoura com as cargas conjugadas, e teremos o seguinte diagrama.

Daí, teremos:

Agora, a tesoura esta totalmente carreada, para o cálculos das tensões. Os cálculos serão feitos pelo processo de cremona, que consiste nos cálculosgráfico, feito em escala, que faremos a seguir.

2ª FASE

Dimensionamento

Agora, já temos todos os esforços que vão agir na estrutura.
Passaremos agora, ao dimensionamento das peças.

Dimensionamento das terças

Quando iniciamos o projeto, não sabemos ainda qual a bitola das peças a serem usadas.

Portanto, sugerimos uma, e através de verificações, confirmamos ou não se a peça é viável.

Neste projeto, vamos esperimentar como terças perfil em _ de 4" x 1 5/8" (101,6 x 41,3) mm.

Agora vamos verificar se é possível.

A fórmula para isto, é a seguinte:

$$G = \frac{Mn}{Wn} \; \frac{Mt}{Wt}$$

Sendo:

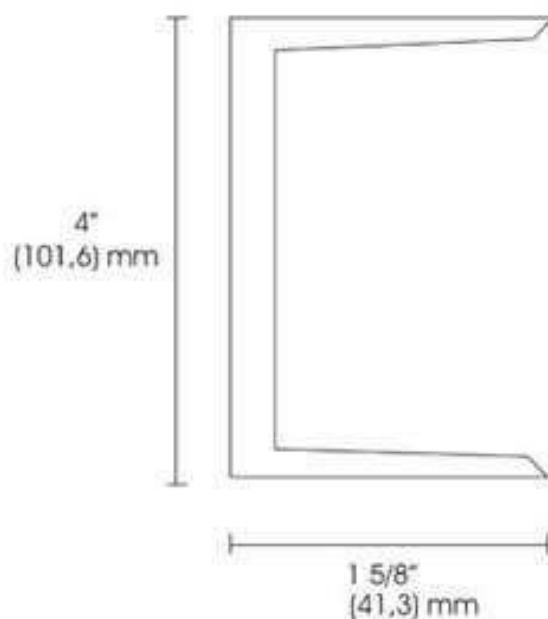
T = tensão máxima que a peça suporta

Mn = momento máximo na direção normal

Mt = momento máximo na direção transversal

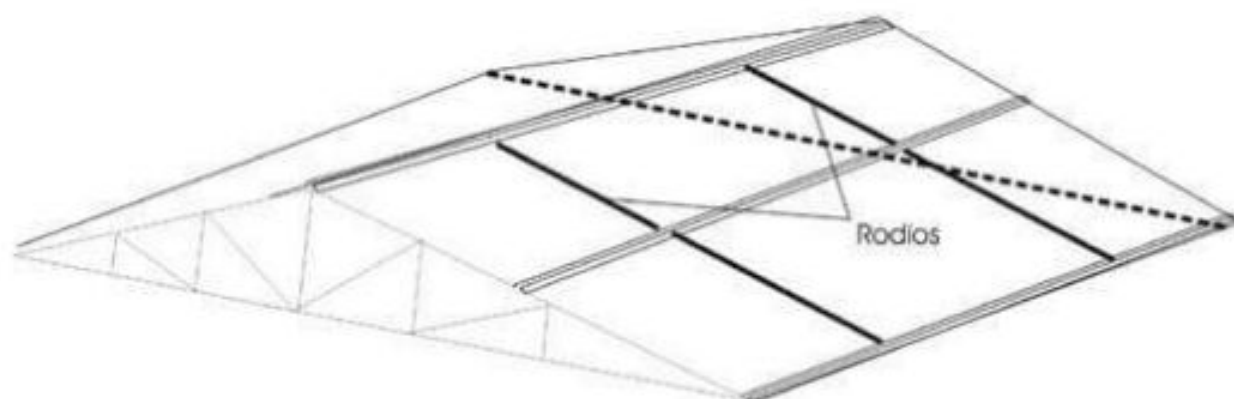
Wn = momento de inerciana direção normal (tabela a)

Wt momento de inerciana direção transversal (tabela b)

Perfil Adotado

Após os cálculos, que estão no apêndice de cálculos, verificamos que a peça não atende aos esforços solicitantes.

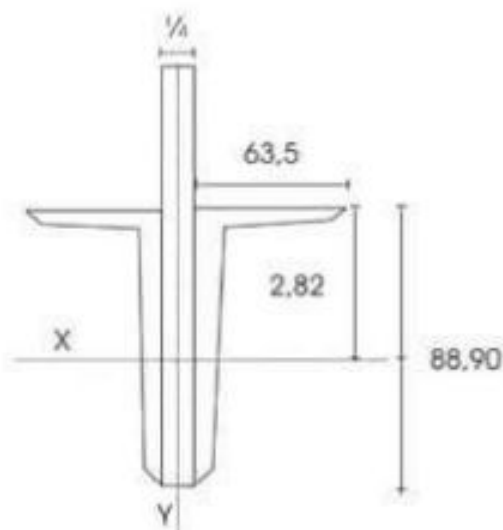
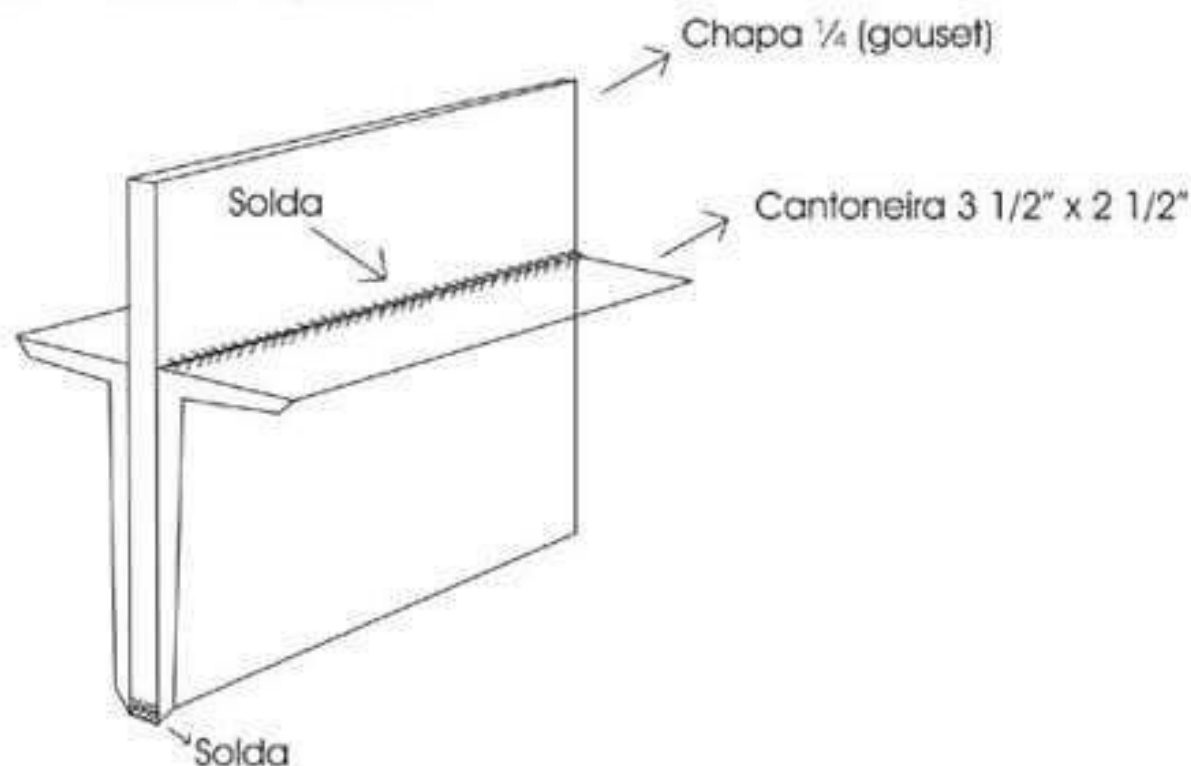
Então, adotaremos para reforçar as terças, 2 ródios.

Ródios são vergalhões de ferro, que é soldado entre as terças, ligando-as uma a uma.

Exemplo:

No nosso projeto usaremos vergalhão CA-50 3/8"

Com a inclusão de 2 Ródios 3/8" para cada vão entre tesouras e as terças ganham rigidez e passam a atender aos esforços solicitantes, e com isto foi aprovadas.

Cálculo dos cordões superiores e inferiores.

Como nas terças, também adotaremos certas peças e fazemos a verificação.
No nosso projeto, adotaremos 2 cantoneiras de abas desiguais de 3 1/2" x 2 1/2" (88,90 x 63,50) mm de chapa de 1/4" (vide desenho)

A situação de solda é a seguinte:

Esta situação de solda é só exemplo.

Na situação real, os desenhos ilustrativos estão no apêndice de desenho.

No nosso projeto, após os cálculos (vide apêndice de cálculos), verificamos que as peças foram aprovadas, isto é, passarão na verificação e portanto forma confirmadas.

Apêndice de Cálculos

Cálculo da distribuição dos pesos de vento global das terças, nos nós.

$$R_1 = \frac{99 \times 2{,}41 + 197 \times 0{,}55}{2{,}61} = 132{,}93 \quad 133 \text{ Kg}$$

$$R^{I}_{2} = \frac{197 \times 2{,}06 + 99 \times 0{,}2}{2{,}61} = 163{,}07 \quad 164 \text{ Kg}$$

$$R^{II}_{2} = \frac{197 \times 1{,}30}{2{,}61} = 98{,}12 \quad 99 \text{ Kg}$$

$$R^{I}_{3} = \frac{197 \times 1{,}31}{2{,}61} = 98{,}87 \quad 99 \text{ Kg}$$

$$R^{II}_{3} = \frac{197 \times 2{,}06 + 197 \times 0{,}2}{2{,}61} = 170{,}58 \quad 171 \text{ Kg}$$

$$R_4 = \frac{197 \times 2{,}41 + 99 \times 0{,}56}{2{,}61} = 203{,}15 \quad 204 \text{ Kg}$$

Cálculo da distribuição dos pesos das terças, devido no vento de sucção a esquerda, nos nós

$$R_1 = \frac{43 \times 2{,}41 + 25 \times 0{,}55}{2{,}61} = 57{,}6$$

$$R^{I}_{2} = \frac{85 \times 2{,}06 + 43 \times 0{,}2}{2{,}61} = 70{,}4$$

$$R^{II}_{2} = \frac{85 \times 1{,}30}{2{,}61} = 42{,}3$$

$$R^{I}_{3} = \frac{85 \times 1{,}31}{2{,}61} = 42{,}3$$

$$R^{II}_{3} = \frac{85 \times 2{,}06 + 85 \times 0{,}2}{2{,}61} = 73{,}6$$

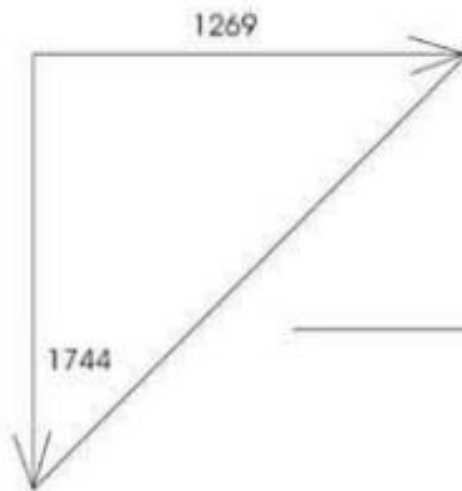
$$R_{4} = \frac{85 \times 2{,}41 + 85 \times 0{,}56}{2{,}61} = 96{,}7$$

Para o lado direito onde a força é mais intensa, teremos.

$$R_{7} = \frac{140 \times 2{,}41 + 280 \times 0{,}55}{2{,}61} = 188{,}4 \qquad R^{II}_{6} = \frac{280 \times 1{,}30}{2{,}61} = 139{,}46$$

$$R^{I}_{6} = \frac{280 \times 2{,}06 + 140 \times 0{,}2}{2{,}61} = 231{,}7 \qquad R^{I}_{5} = \frac{280 \times 1{,}31}{2{,}61} = 140{,}5$$

$$R^{II}_{5} = \frac{280 \times 2{,}06 + 280 \times 0{,}2}{2{,}61} = 242{,}45 \qquad R_{4} = \frac{280 \times 2{,}41 + 280 \times 0{,}56}{2{,}61} = 320{,}0$$

Cálculo da resultante na ponta do pilar, resultante da Ação de Carga permanente + vento

$R_1 = (1269)^2 + (1744)^2$

$R_1 = 2156,8$

$tg = \frac{1744}{1269} = 1,38 = 54^o$

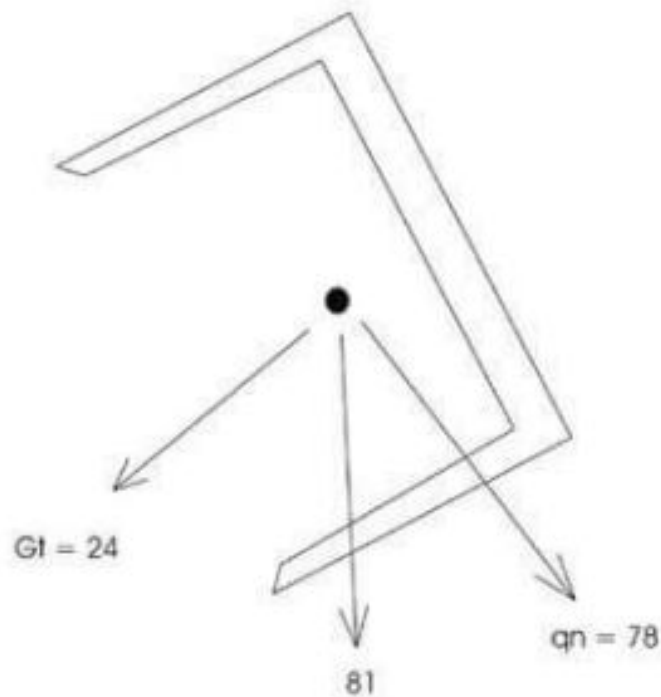
Cálculo das terças

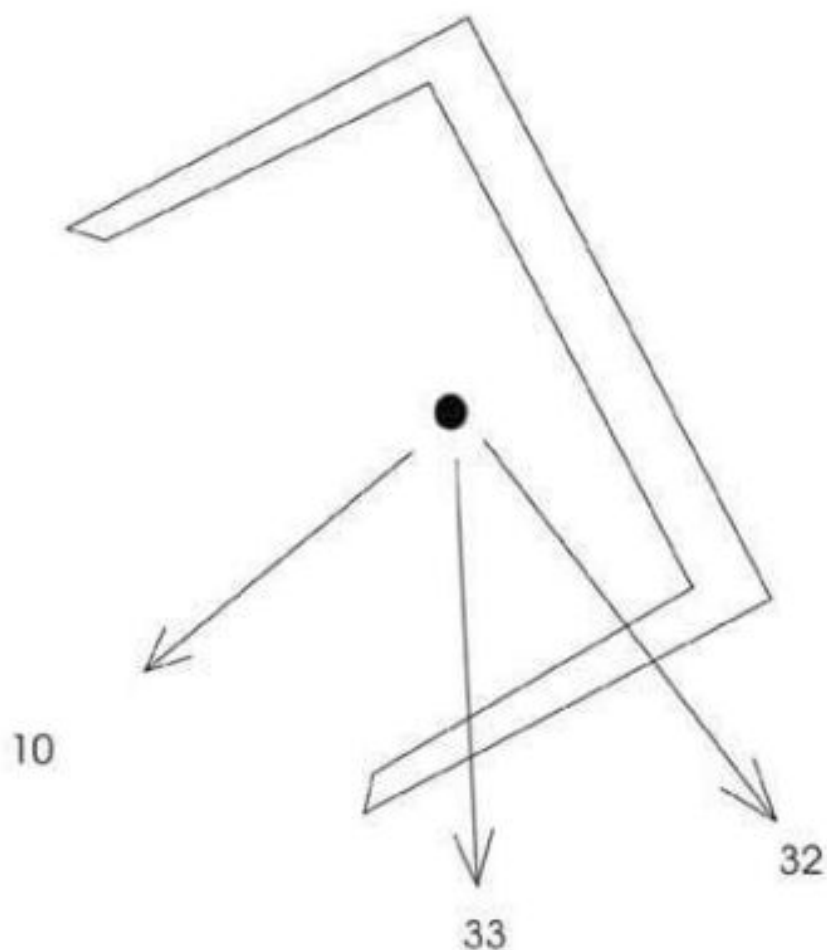
Carga permanente da Terça

$Cp = pp + p \text{ telhas } \left(\frac{L1}{2} + \frac{L2}{2} \right)$

$Cp = 12 + 25\ (1,86) = 80,82\ \ 81$ Kg

qt = 81 sem x = 81 sem 17º

qn = 81 cos x = 81 cos 17º

qt = 81 x 0,2923 = 23,68 24 Kg

qn = 81 x 0,9563 = 77,46 78 Kg

Carga de vento na Terça.

Cv = 1,2 sem x ($\frac{L1}{2} + \frac{L2}{2}$)

L1 e L2 = (Espaçamento entre as terças)

Cv = 1,2.q. sem 17.1,86

Cv = 1,2.50.0,2923.186

Cv 33 Kg

qt = 33 x sen x = 33 x 0,2923 10 Kg

qn = 33 x cos x = 33 x 0,9563 0,9563 32 Kg

Sobrecarga

Para vãos maiores que 4,0m a sobre carga é de 50 Kg/m.

qs = 50 kg/m
qt = 50 x sem 17º = 15 Kg
qn = 50 x cos 17º = 48 Kg

Definidas as diversas cargas na Terça, passa-se ao carregamento envoltório que é igual a 1) carga permanente + sobrecarga
2) carga permanente + vento

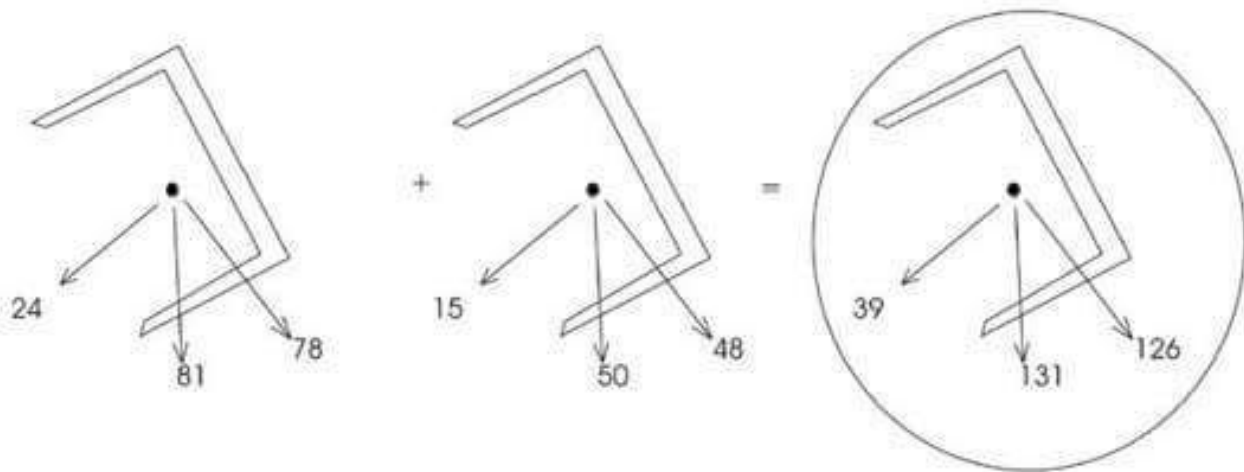
Obs: Nunca se deve considerar carga de vento + sobrecarga + peso próprio pelo fato de que, com o vento fixado pela norma, ninguém poderá subir no telhado.

Assim procedendo, temos 2 opções.

Peso permanente + vento

qs = 50 kg/m
qt = 50 x sem 17º = 15 Kg
qn = 50 x cos 17º = 48 Kg

Definidas as diversas cargas na Terça, passa-se ao carregamento envoltório que é igual a 1) carga permanente + sobrecarga
2) carga permanente + vento
Obs: Nunca se deve considerar carga de vento + sobrecarga + peso próprio pelo fato de que, com o vento fixado pela norma, ninguém poderá subir no telhado.
Assim procedendo, temos 2 opções.
Peso permanente + vento

b) peso permanente + sobrecarga

Vamos considerar a opção b pois as cargas são maiores.
O próximo passo é calcular os momentos e tensões atuantes.
A norma diz que a tensão não pode ser superior a 1400 Kg/cm^2.
Calcularemos a tensão, com a seguinte fórmula.

$$T = \frac{Mn}{Wn} \; \frac{Mt}{Wt}$$

Sendo Mn Momento na direção Normal
Mt Momento na direção Transversal
Wn Momento de inércia Normal
Wt Momento inércia Transversal
Wn e Wt são tabelados. Veja tabela de perfil.

O sinal varia com a direção das forças

Primeiro calculamos os momentos

Mn = qn L^2n sendo qn carga normal
L = vão da Terça

$$Mn = \frac{126 \times 5^2}{8} = 393{,}75 \text{ Kg.m}$$

$$Mt = \frac{39 \times 5^2}{8} = 121{,}88 \text{ Kg.m}$$

$$T = \frac{39375}{31{,}4} \text{ Kgcm} + \frac{12188}{4{,}61} \text{ Kgcm} = 1253{,}98 + 2643{,}8$$

$$T = 3897{,}7 \text{ Kg/cm}^2$$

Portanto, como T é maior que 1400 Kg/cm² a Terça não é estável e daí teremos que usar rodios, que são vergalhões soldados entre as terças para torná-la estável.
Na direção tangencial com inclusão de 2 rodios, passaremos a ter a Terça como um viga continua de 3 vãos.

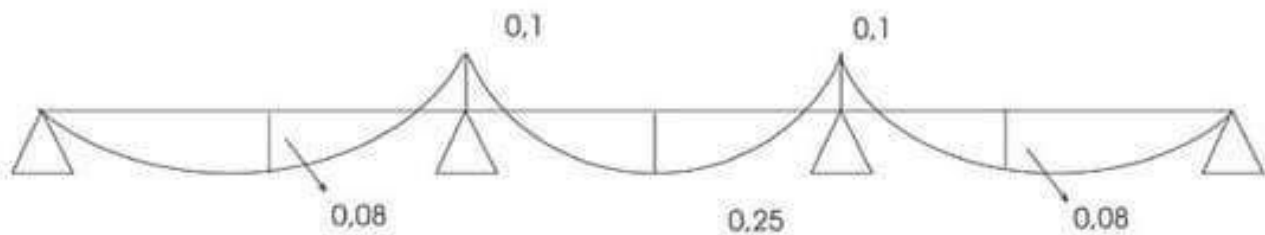
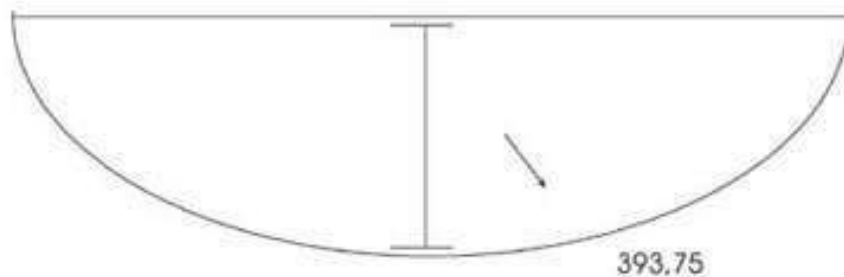
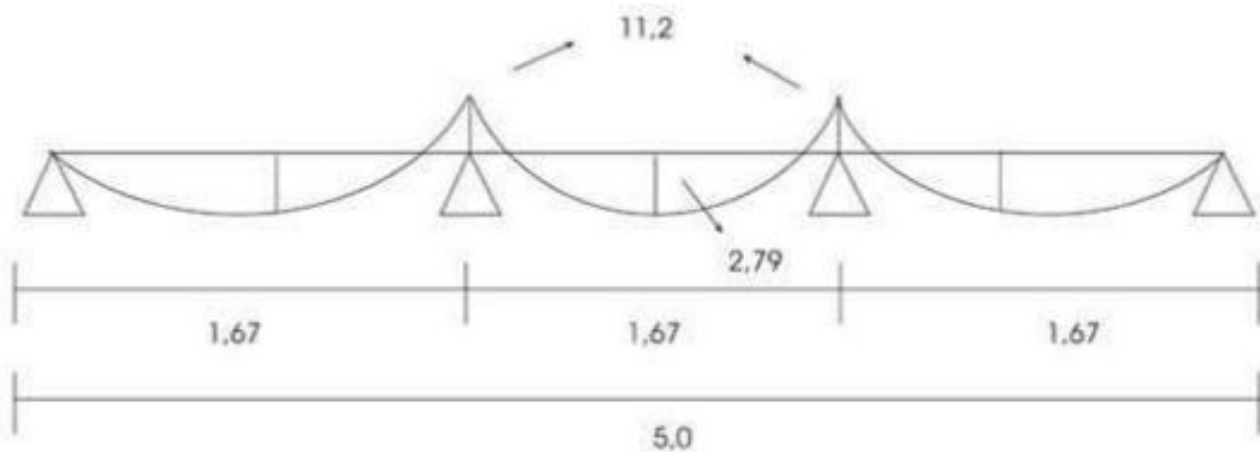



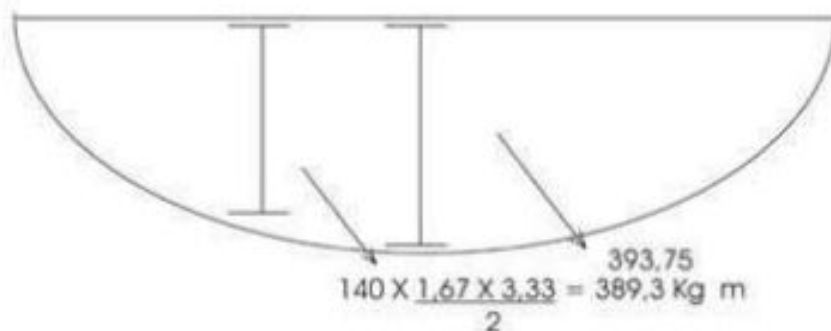
Diagrama para 3 vãos e tabelado é o seguinte.

Na direção normal, teremos o seguinte momento:

Na direção tangencial, teremos 2 momentos.

$M+ = 0{,}1 \times 39 \times 1{,}67^2 = 10{,}87$ Kgcm

$M^- = 0{,}025 \times 39 \times 1{,}67^2 = 2{,}72$ Kgcm

Daí gera o seguinte diagrama

Agora, verificamos a estabilidade nas duas seções.

a)onde o momento normal máximo é 393,75Kgm
Mn max = 394 Kg Mt = 2,79
b) Seção onde o momento tangencial é máximo.
Mt max = 11,2

$$T = \frac{39400}{31,4}\ \frac{279}{4,61} = 1254,8 + 60,5 = 1315$$

T = 1315 Kgm < 1400 é admissível
Portanto a Terça escolhida foi aprovada.

Cálculos para verificação dos cordões superiores e inferiores

VERIFICAÇÃO
A fórmula para verificação é o seguinte.

$$Tmax = \frac{WN}{5} + \frac{M}{WC} \quad \text{SENDO } W - \frac{1200}{Tfl}$$

N - Carga
S - Área da seção
M - Momento máximo
WC - $\frac{J}{Lc}$
J - Momento de inércia
(Tabelado)
lc - Distância do centro de gravidade a borda omprimida.

$Jxx = 2 \times 75 = 150$

$Jyy = 2 [\ 32 + 9{,}29\ (\ 1{,}55 + \frac{0{,}79}{2}\ )^2] = 134{,}30$

$Tmim = \frac{134{,}3}{2 \times 9{,}29} = 2{,}69$

$X = \frac{300}{} = 111{,}52$ tabela $Tjl = 835\ Kg/m^2$

Agora calcular-se $\frac{lh}{bt}$ sendo
l - vão do cordão
h - Altura
b -
t espessura do perfil

$\frac{lh}{bt} = \frac{261 \times 8{,}89}{5 \times 2{,}54 \times 0{,}794} = 230{,}16$

pela norma se

$\frac{lh}{bt} > 718$ --> usa-se $\frac{795000}{\frac{lh}{bt}}$

e se

$\frac{lh}{bt} < 718$ --> $Tjl = 1400\ \ 0{,}00657\ (\ \frac{lh}{bt}\ )^2$

Como no nosso caso

$\frac{Lh}{bt} \leq 718$ teremos

$Tjl = 1400\ \ 0{,}00057\ (\ \frac{lh}{bt})^2$

$Tjl = 1400\ \ 0{,}00057\ (\ \frac{lh}{bt}\ )^2$

$Tjl = 1400\ \ 0{,}00057\ (\ 230{,}16)^2$

$Tjl = 1190$

$W = \frac{1200}{Tjl} = \frac{1200}{835} = 1,44$

$Tmax = \frac{144 \times 930}{2 \times 1,55} + \frac{33000}{\frac{150}{2,82}}$

$Tmax = 432 + 620,4 = 1052,4$

$Tmax = < Tjl \therefore$ Estável

2º verificação Tensão de flambagem no plano do momento fletor.

$ix = \sqrt{\frac{J}{x}} = \sqrt{\frac{150}{2,82}} = 7,29$

$x = \frac{300}{7,29} = 41,15 \quad jl = 1160\ Kg / m^2$

$x = j\,(K\,Y)$ sendo $K = M \times L \times \frac{S}{WC}$

M = --> tabela = 1,3

L = --> braço da alavanca

$K = 1,3\ \frac{M}{N} \times \frac{25}{\frac{J}{X}} = 1,3 \times \frac{3300}{930} \times \frac{2 \times 9,29}{\frac{150}{2,82}}\ (75 \times 2) =$

$K = 1,61 \rightarrow x = 2,002$

Agora calculamos

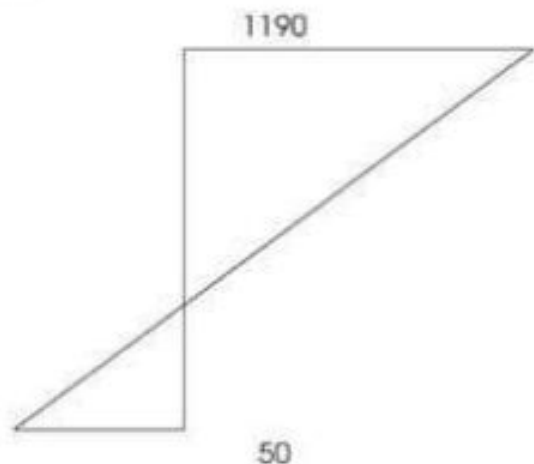
$\frac{XN}{S} = 2,002 \times \underline{930} = 201,06 < Tjl = 1160\ Kg/m^2$

Estadual

3º verificação Segurança a flambagem no plano normal ao momento fletor.

Os momentos são os seguintes.

Na borda comprimida 1190 Kg/m^2

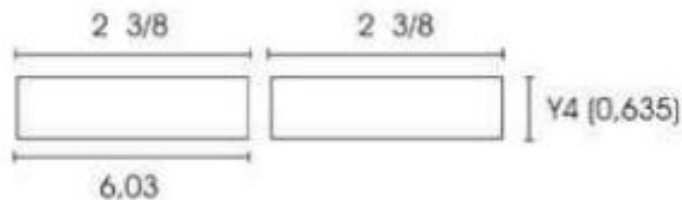
Na borda tracionada 50 Kg/m^2

$$T = \frac{WN}{5} \; \frac{M}{WT} = -570 \; \frac{3300}{150}$$

7,62 2,82

$$T = -464{,}4 + \frac{1190 \times 7{,}31}{2} = 677{,}18 < Tjl$$

2 3/8 2 3/8

Y4 (0,635)

6,03

Condição T1 < Tjl.

$$Jy = 2 \,[\, 0{,}635 \times (6{,}03)^3 + 0{,}635 \times 6{,}03 \,(3{,}01 + \frac{0{,}794}{2})$$

$$Jy = 0{,}635 \times 219{,}26 + 13{,}05$$

$$Jy = 152{,}28$$

$$Ly = \frac{152{,}28}{2 \times 0{,}635 \times 6{,}03} = \sqrt{19{,}9} = 4{,}46$$

$$y = \frac{300}{4{,}46} = 67{,}26 \rightarrow Tjl = 1096$$

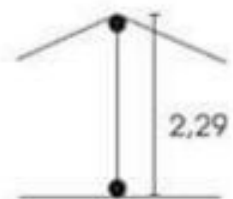
T1 < Tjl

677,18 < 1096 ∴ Estável

Dimensionamento das diagonais e montantes

Nas diagonais e montantes, adotaremos cantoneiras de abas iguais de 2 ½'' x 2 ½'' (6,35 x 6,35)

Condição para estabilidade

$$T = \frac{N}{S} + \frac{M}{WT} \quad 1400\ Kg/m^2$$

A diagonal mais solicitada e a KN cuja carga é de N = 0,23 t

Como as forças do cálculo de cremona estão no plano da tesoura.

$Jxx = 2 \times 29 = 58\ cm^4$

$$Jyy = 2 \left[29 + 7{,}67 \left(1{,}83 + \frac{0{,}79}{2} \right)^2 \right]$$

$Jyy = 128{,}3\ cm^4$

$$T = \frac{230}{2 \times 7{,}67} = 14{,}99 < 1400 \quad \text{estável}$$

Utilizando 1 cantoneira, teremos excentricidade, isto é, flexão composta.

$$L = 1{,}83 + \frac{0{,}79}{2} = 2{,}225$$

$M = 0{,}23 \times 2{,}225 = 0{,}51$

$$Tmax = \frac{N}{S} + \frac{M}{WT} = \frac{230}{9{,}48} + \frac{510}{\frac{29}{2{,}23}} = 63{,}5 < 1400$$

$\therefore$ Estável

PLANTA BAIXA

15 m

5 m
60x3.00
5 m
60x300
5 m
60x3.00
5 m
60x300
5 m
60x3.00
5 m
60x300

galpão

30 m

5.5
4 m
5.5

CORTE
LONGITUDINAL
30
6.00
2.29
10

VISTA DO PORTICO

2Γ 31/2" x 2 1/2

2.61

2Γ 2" x 21/2"

2.61

2,29m

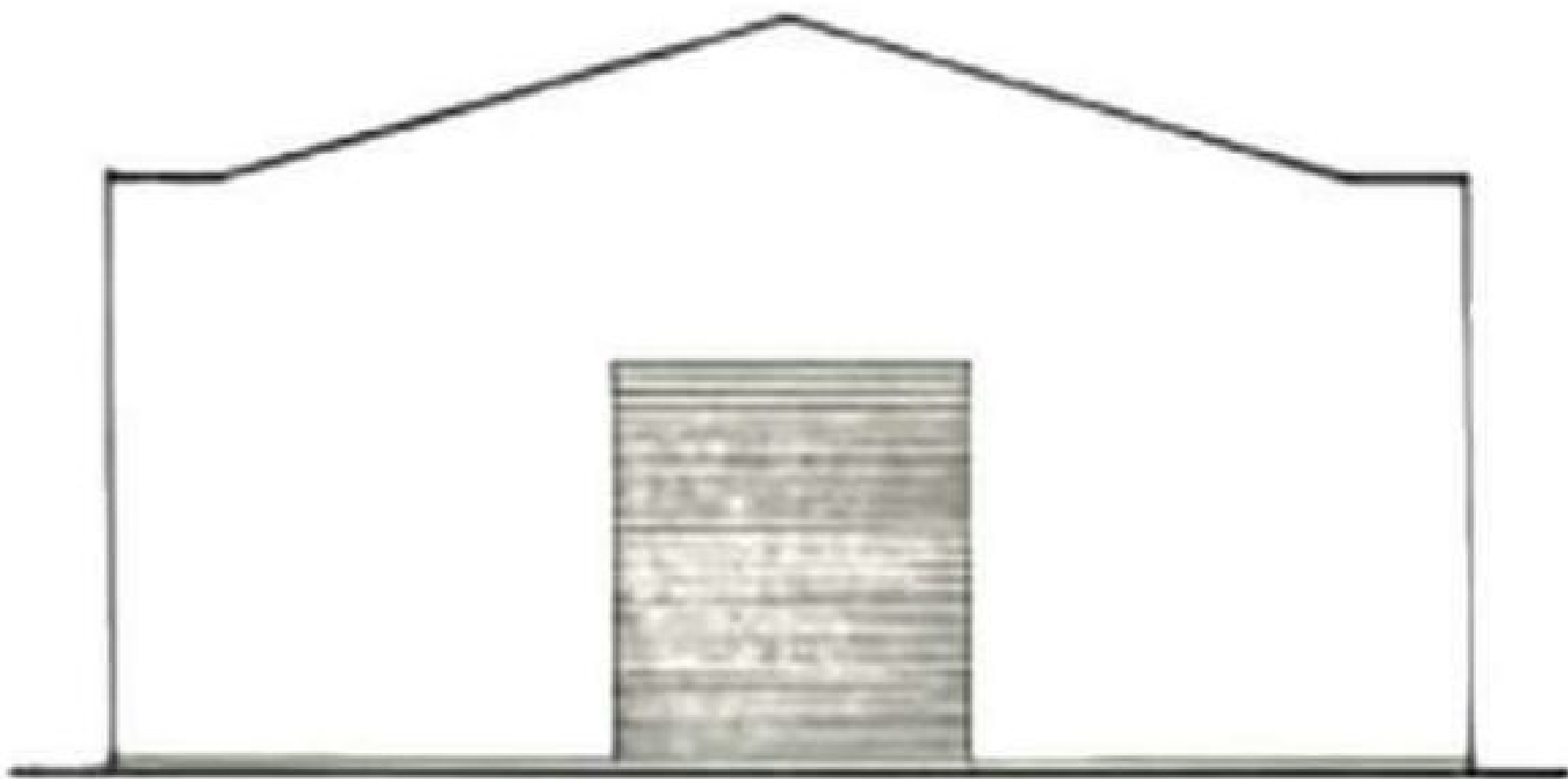
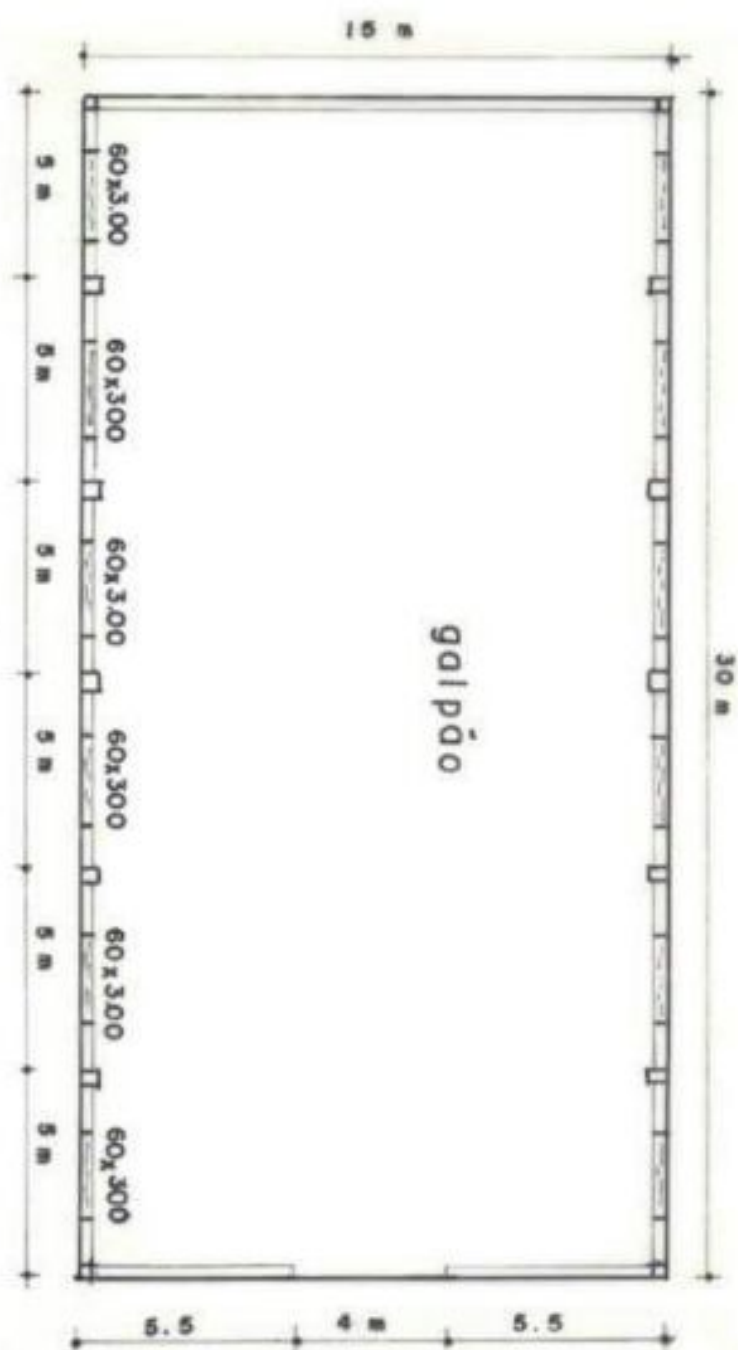
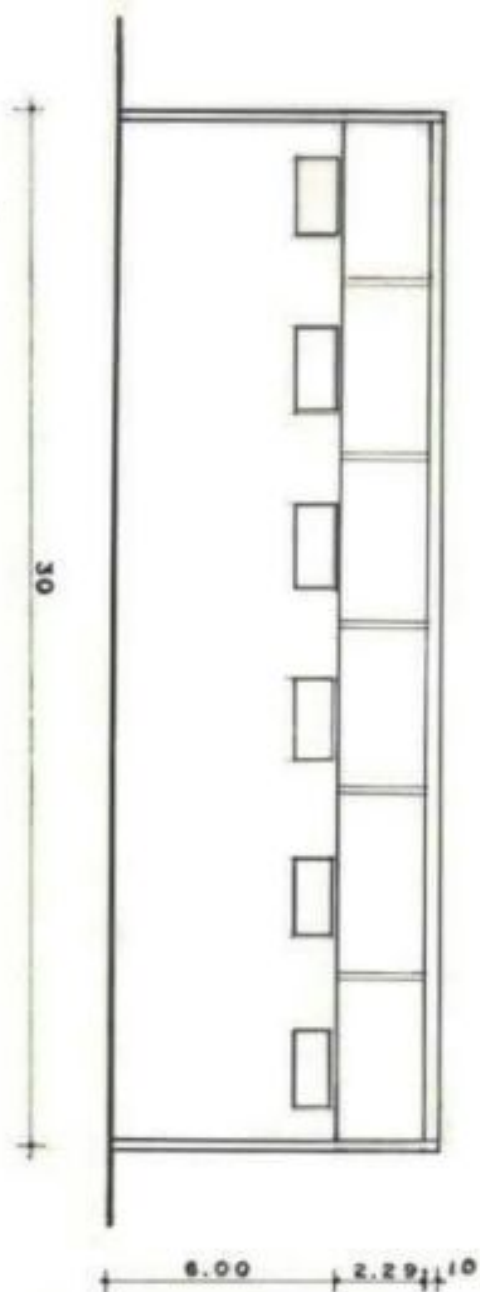
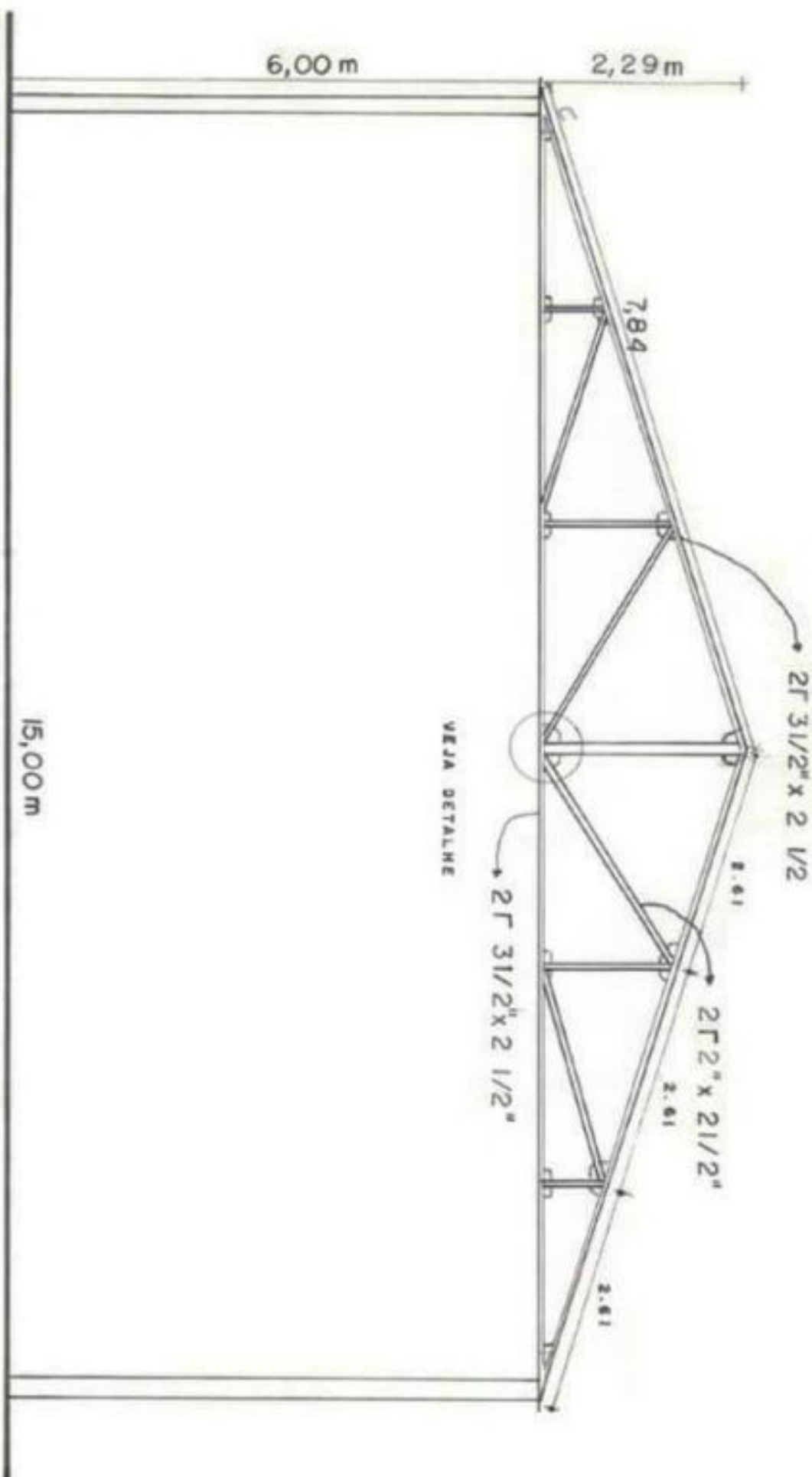
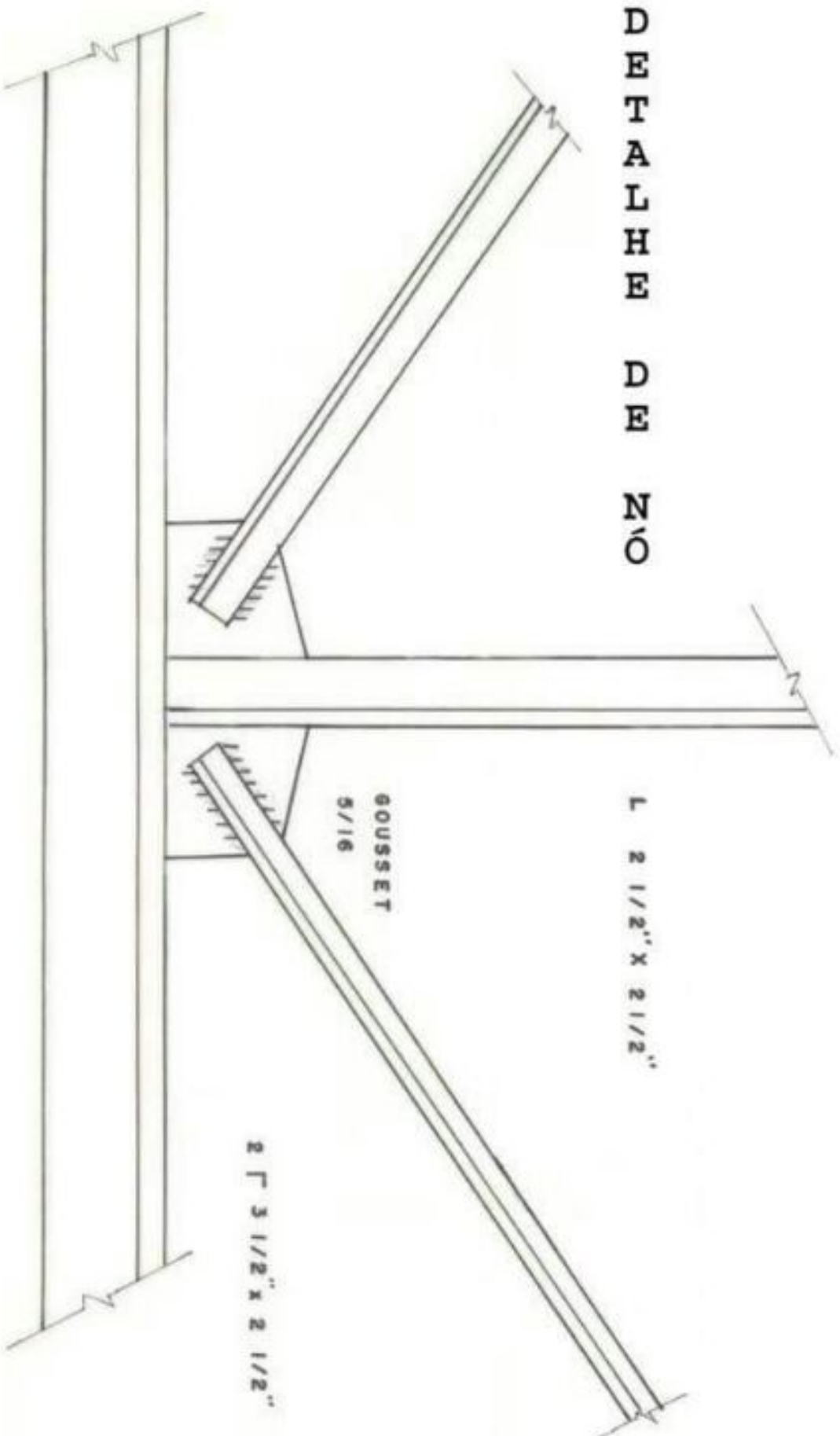
7,84

2.61

2Γ 31/2" x 2 1/2"

VEJA DETALHE

6,00m

15,00m

DETALHE DE NÓ
L 2 1/2" X 2 1/2"
GOUSSET
5/16
2 ⌈ 3 1/2" x 2 1/2"

8.89 CM

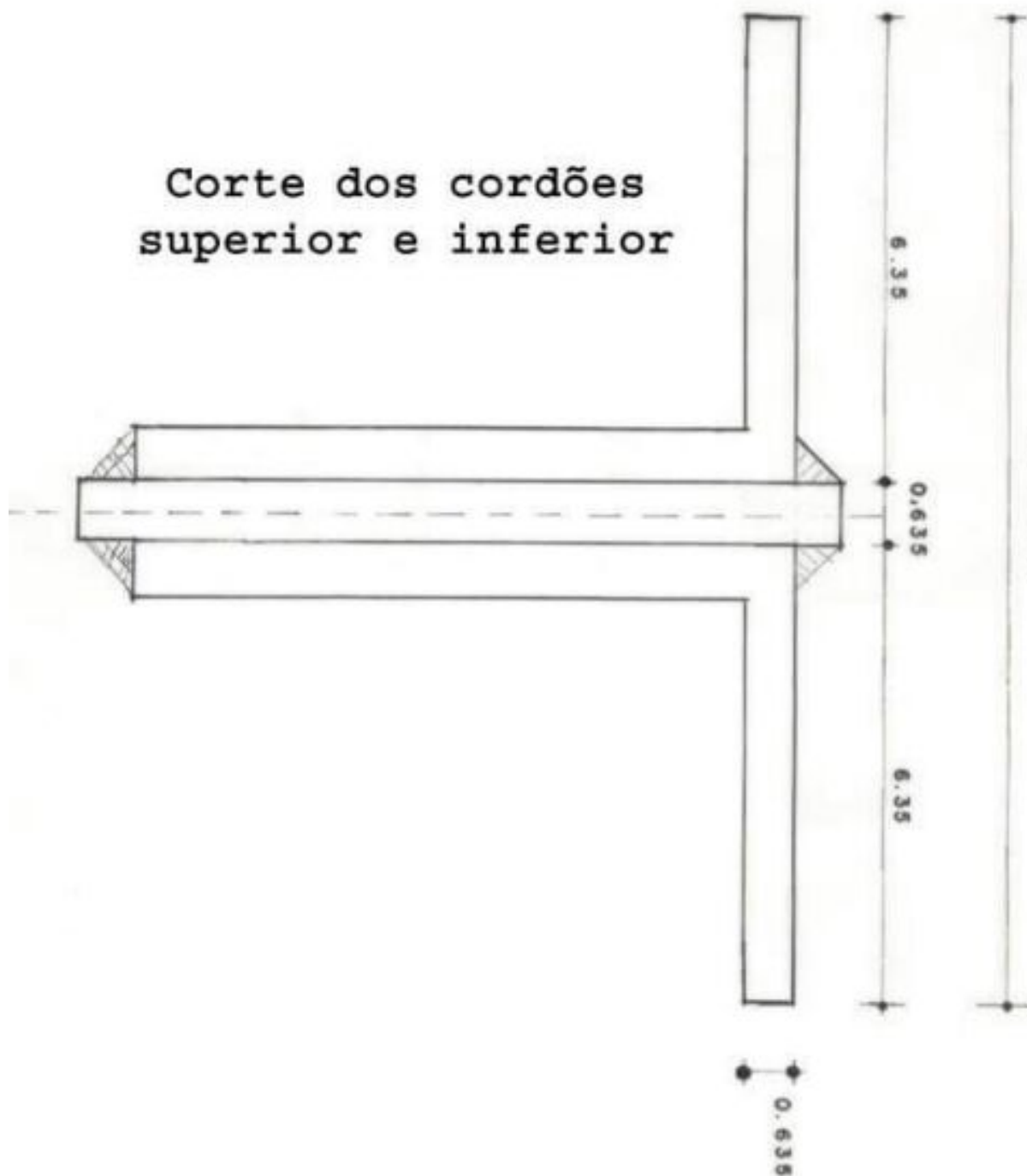
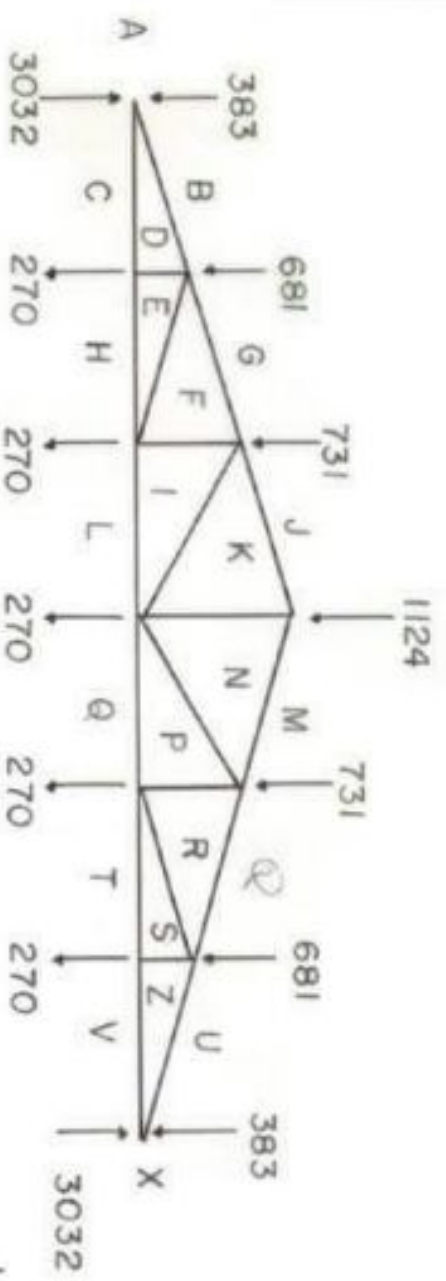
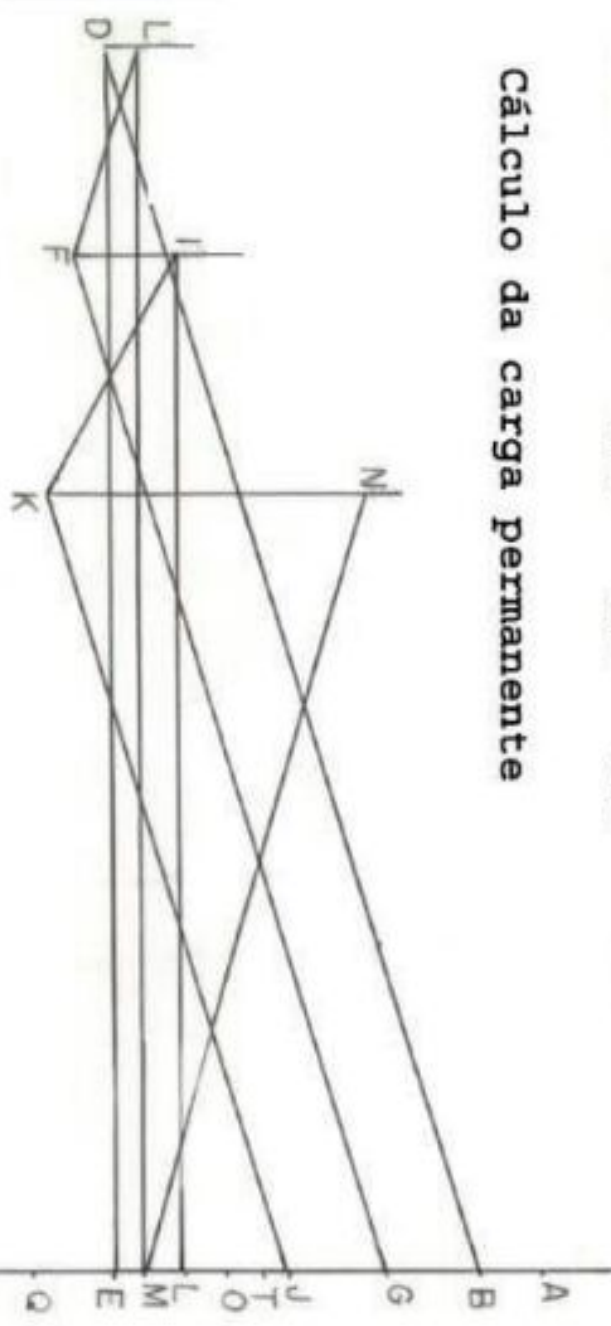
Corte dos cordões
superior e inferior

6.35

0,635

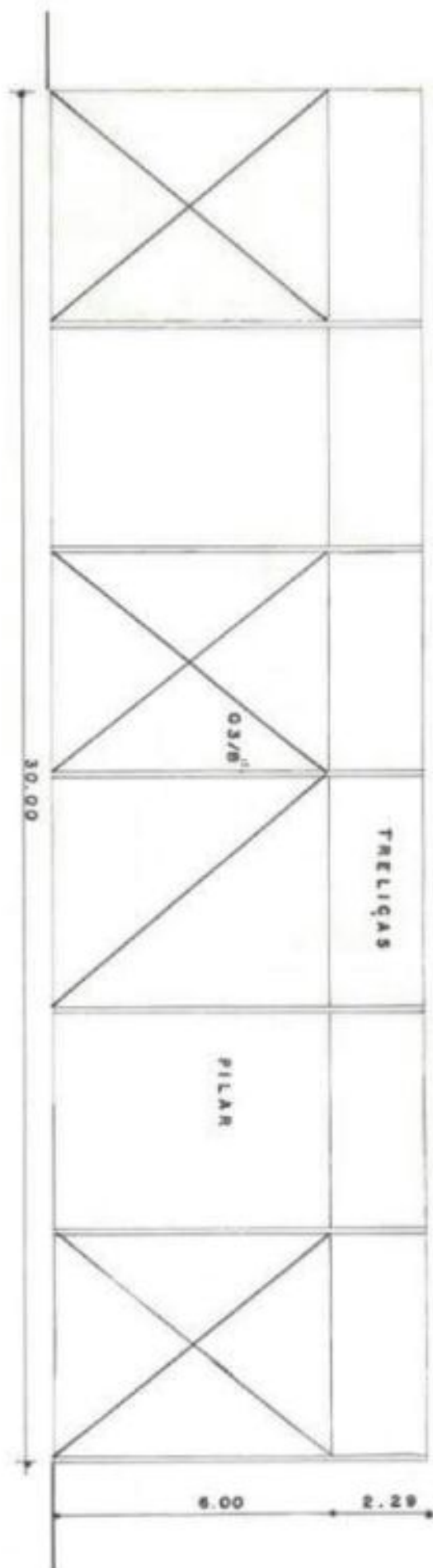
13.335 CM

6.35

0.635

Barra	Esforço
BD=VZ	-9250
DC=ZV	+8650
DE=SZ	+500
GF=QR	-400
JK=MN	-5900
KN=	+2300
KI=	-1950
IF=	+750
IL=	+7350
EM=	+8650
FE=	-1600

OBS: 1) SE O GALPÃO FOR TODO FECHADO POR ALVENARIA, A FRENTE E O FUNDO NÃO REQUER TESOURA. SUBSTITUÍDAS POR ALVENARIA ESTRUTURADA.

2) CASO OCORRA OBS. 1, O CONTRAVENTAMENTO É REDUZIDO EXISTINDO SÓMENTE P/ SEGURAR A ESTRUTURA DURANTE A OBRA.

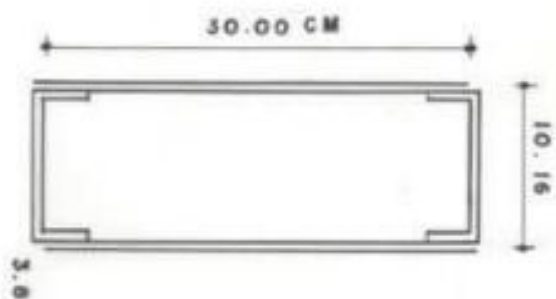
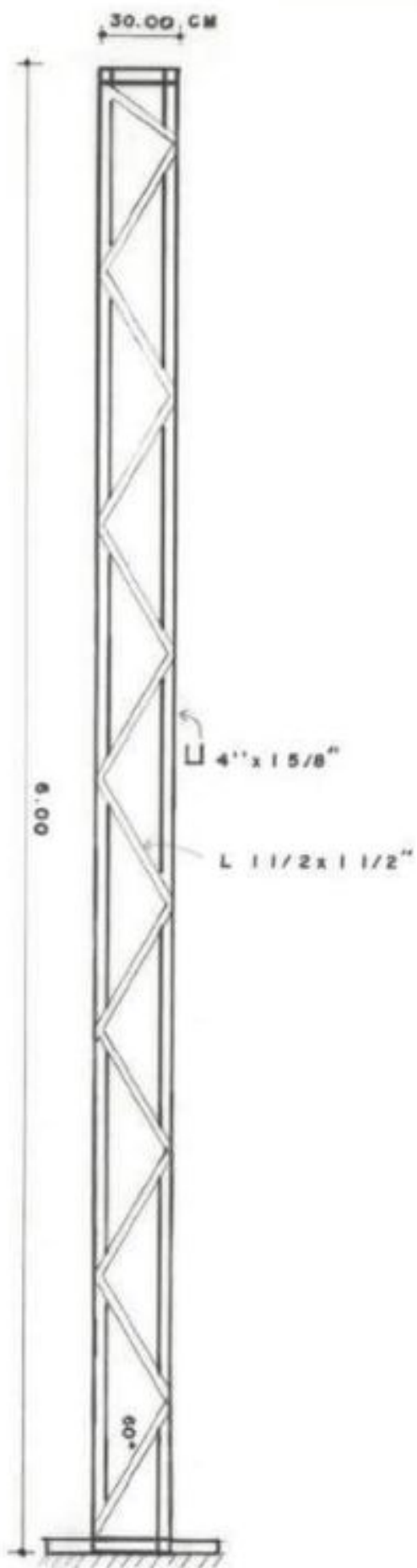
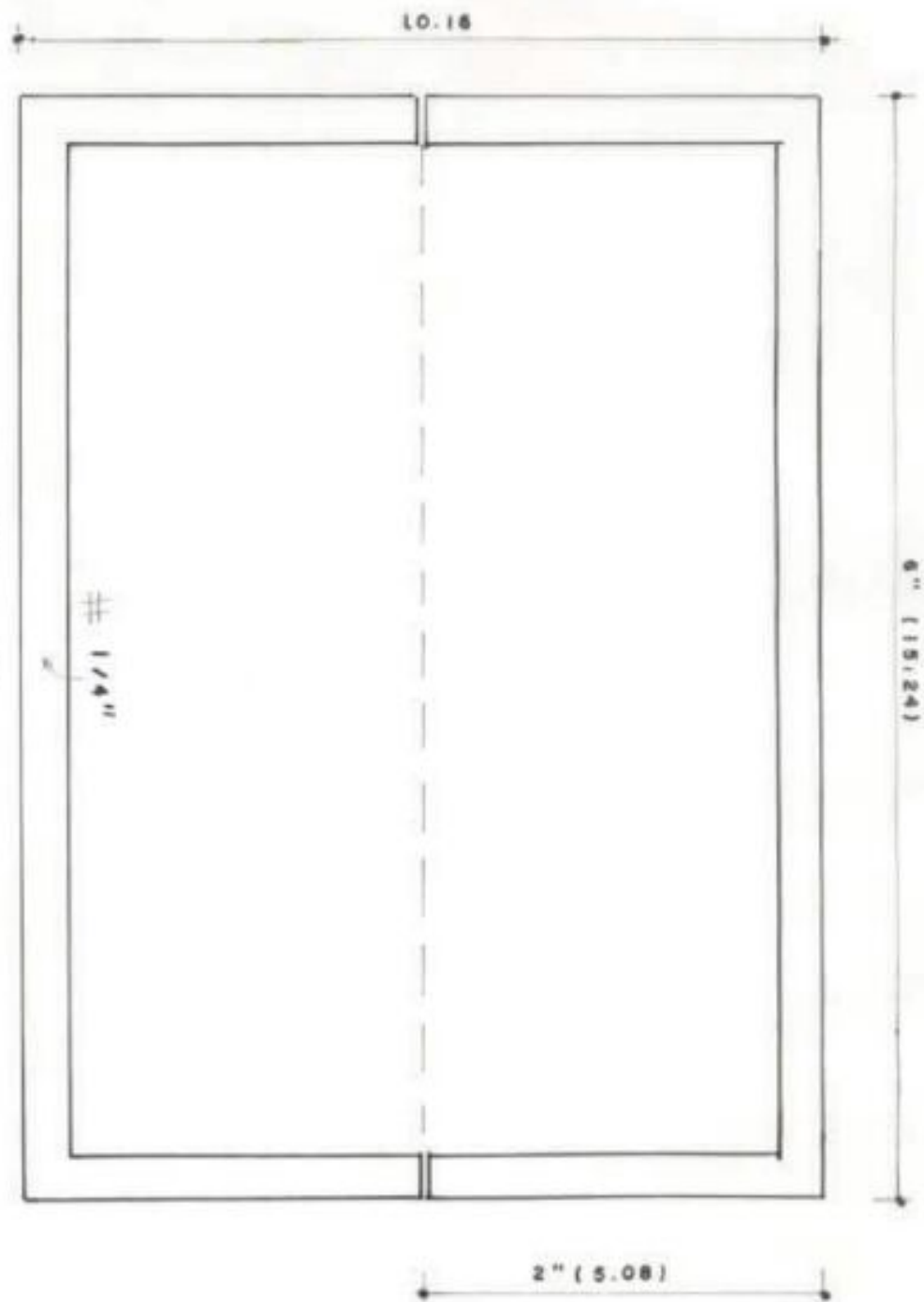
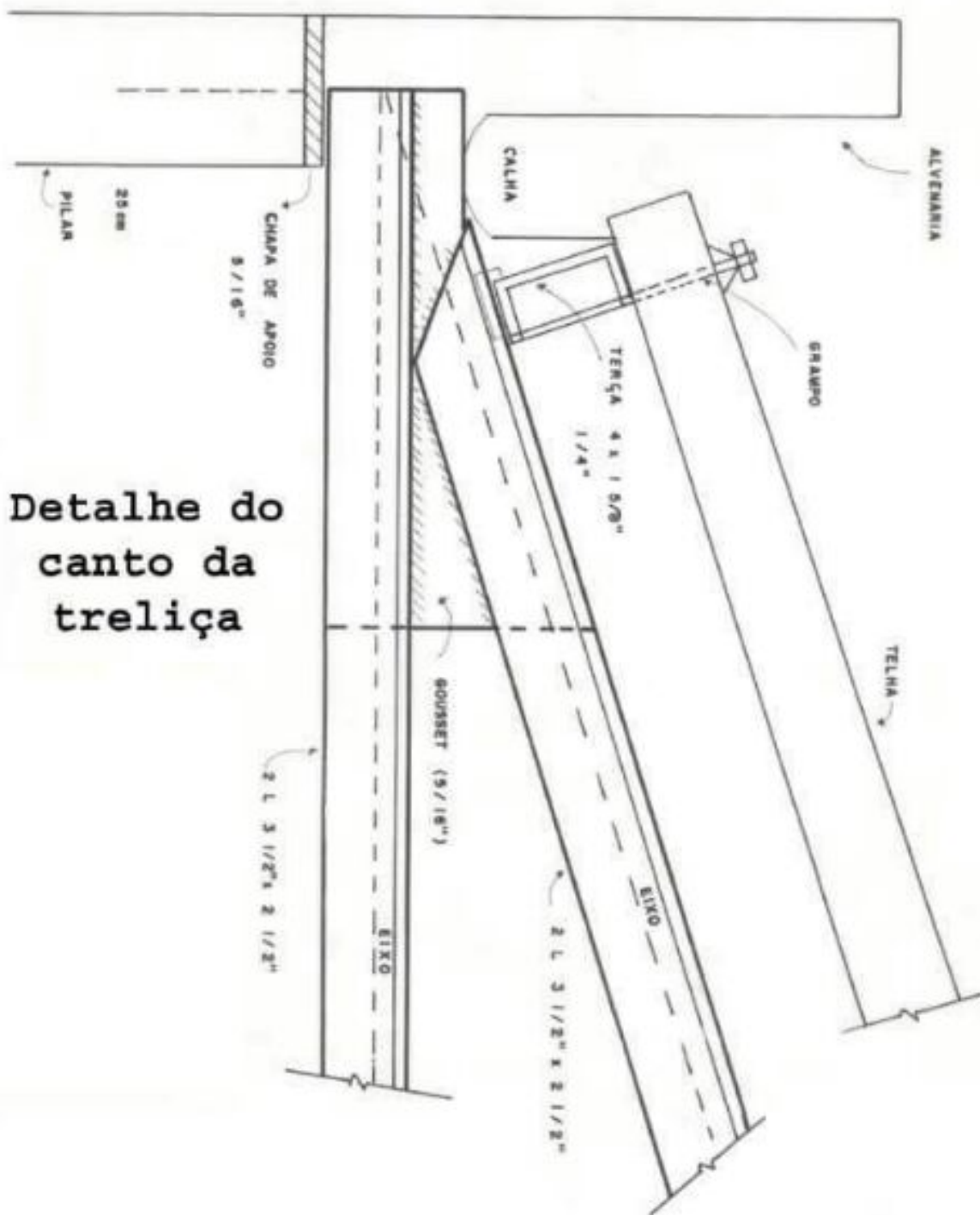
CONTRAVENTAMENTO

Detalhe do pilar treliçado

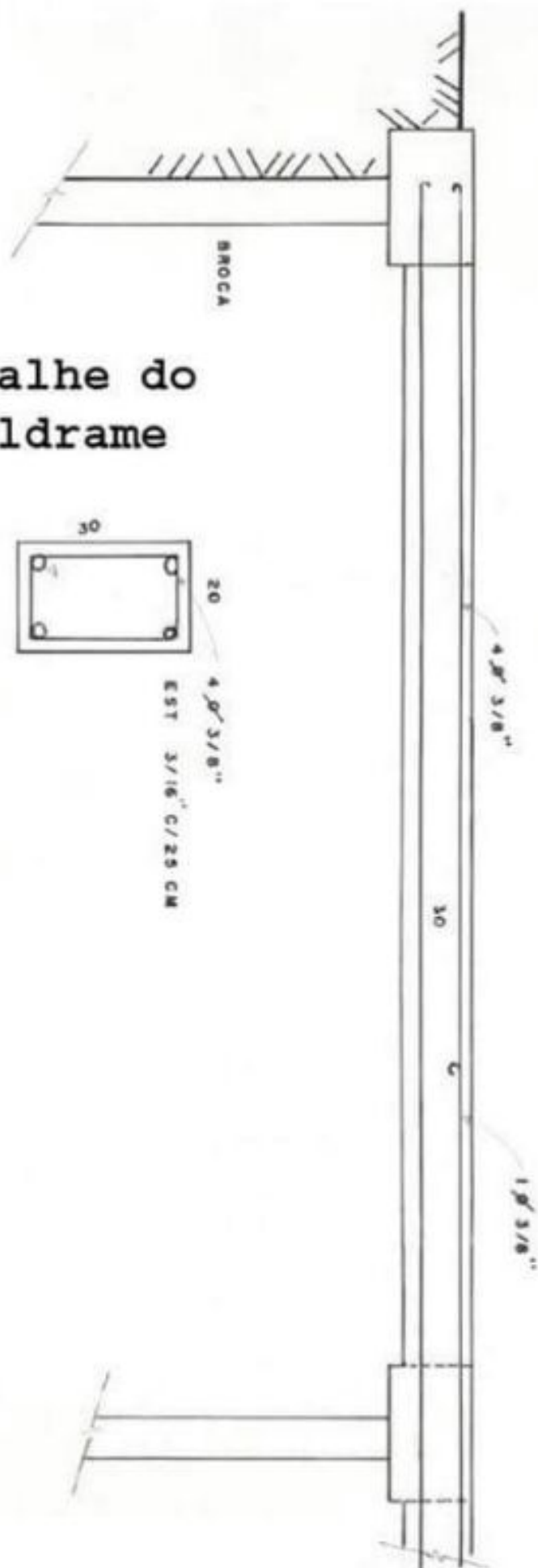
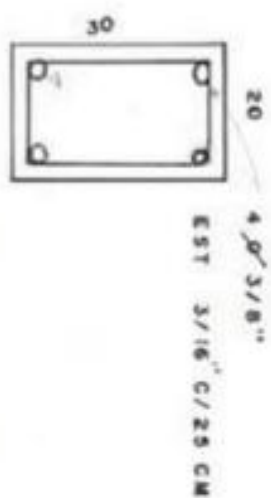
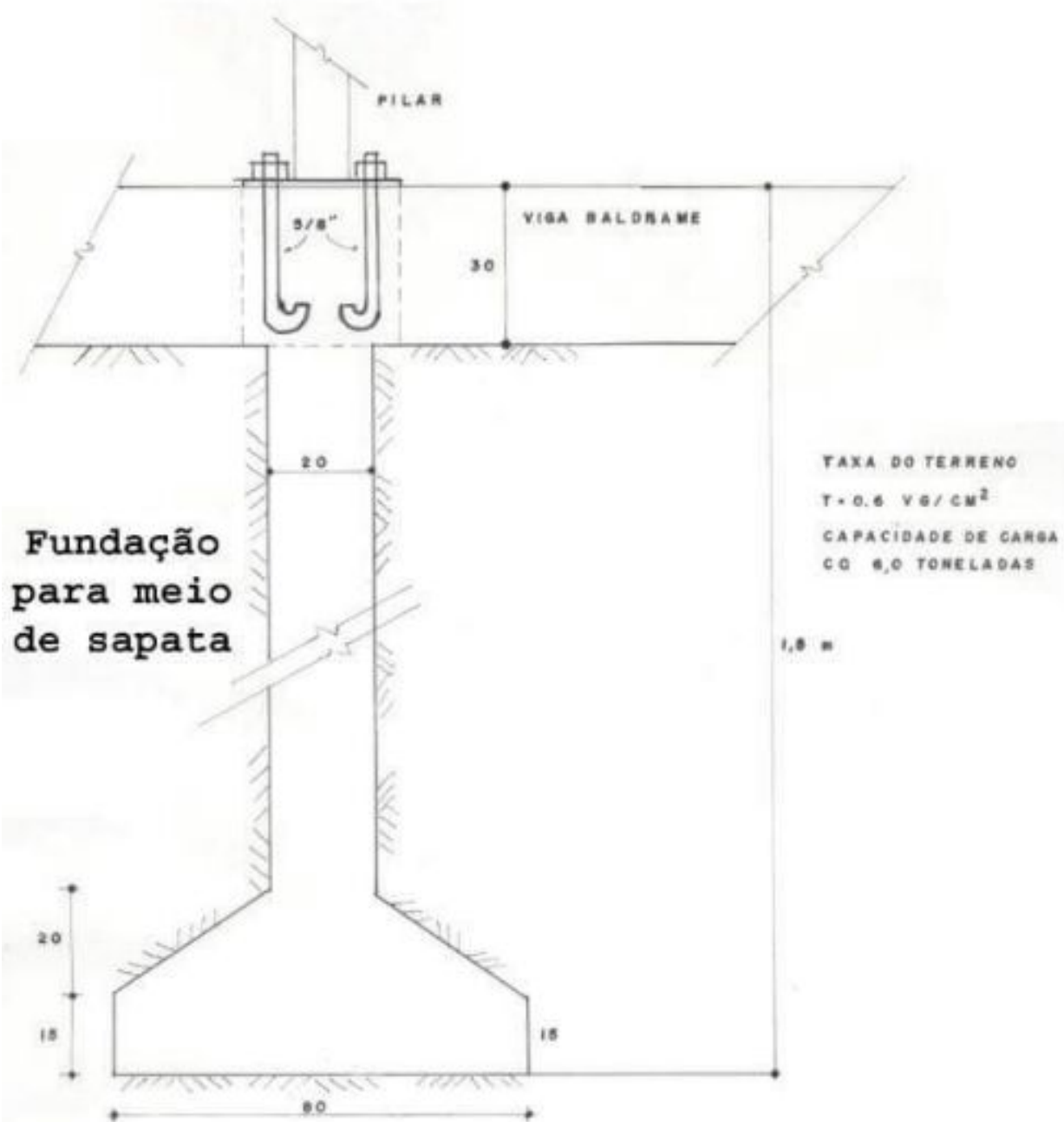
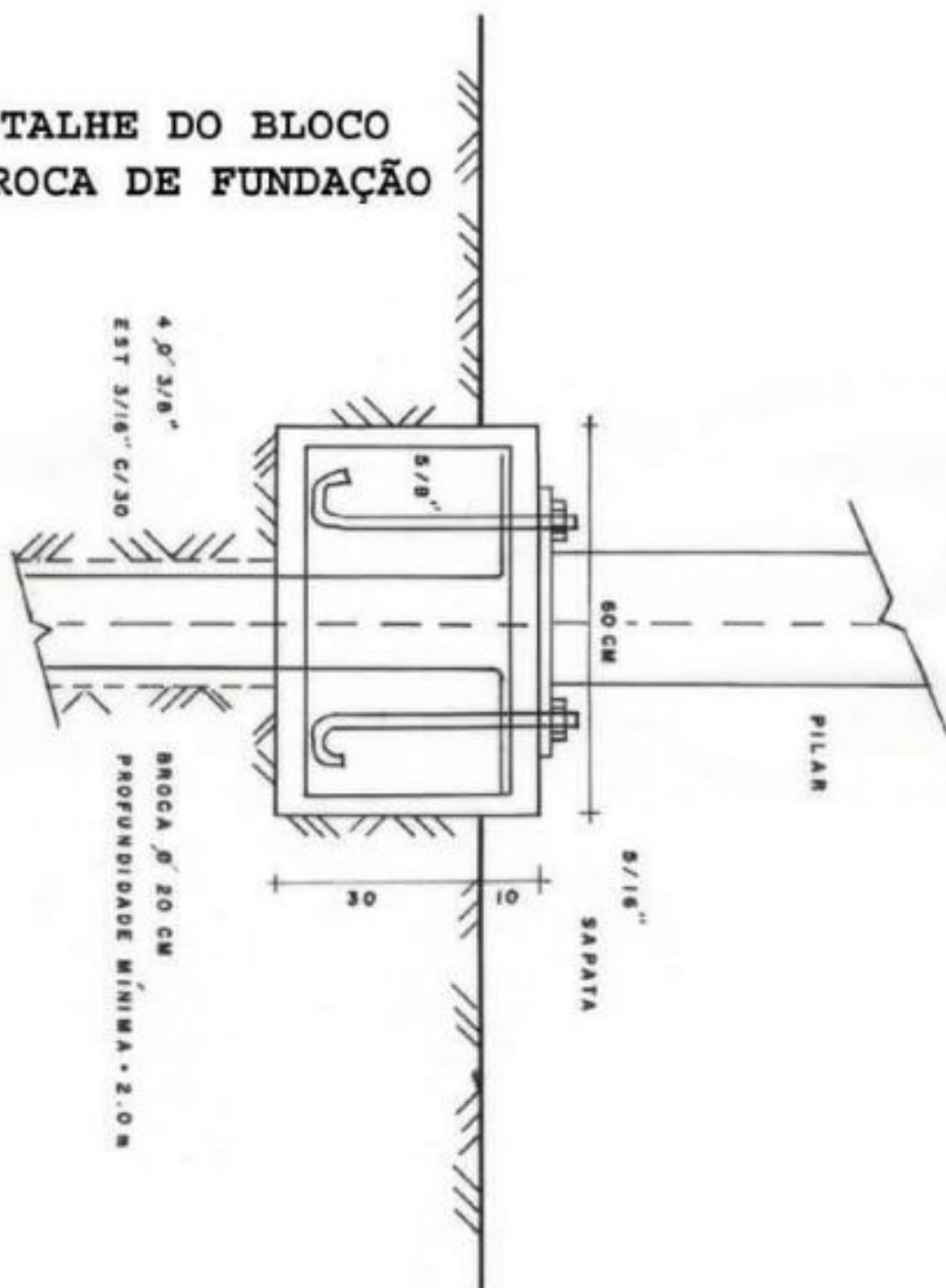
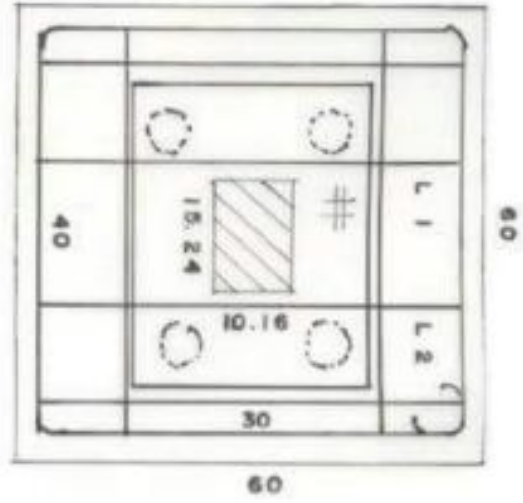
Corte
do
pilar

10.16

6" (15.24)

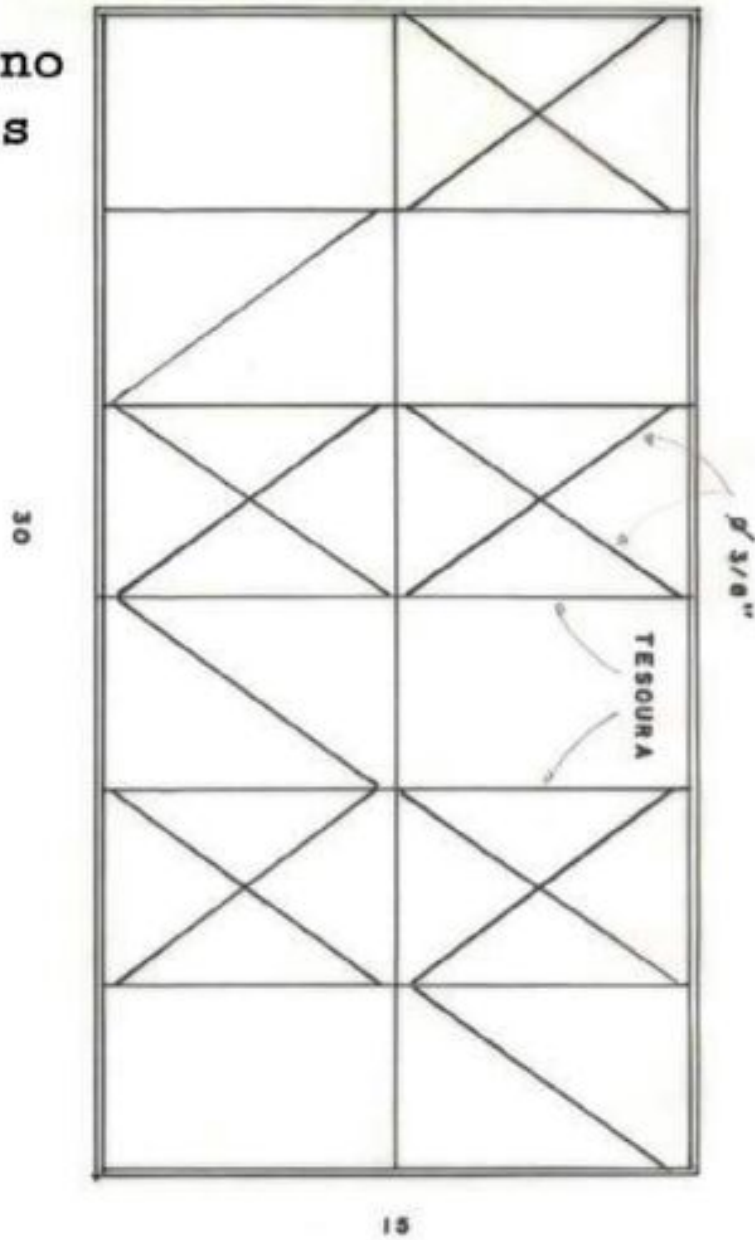
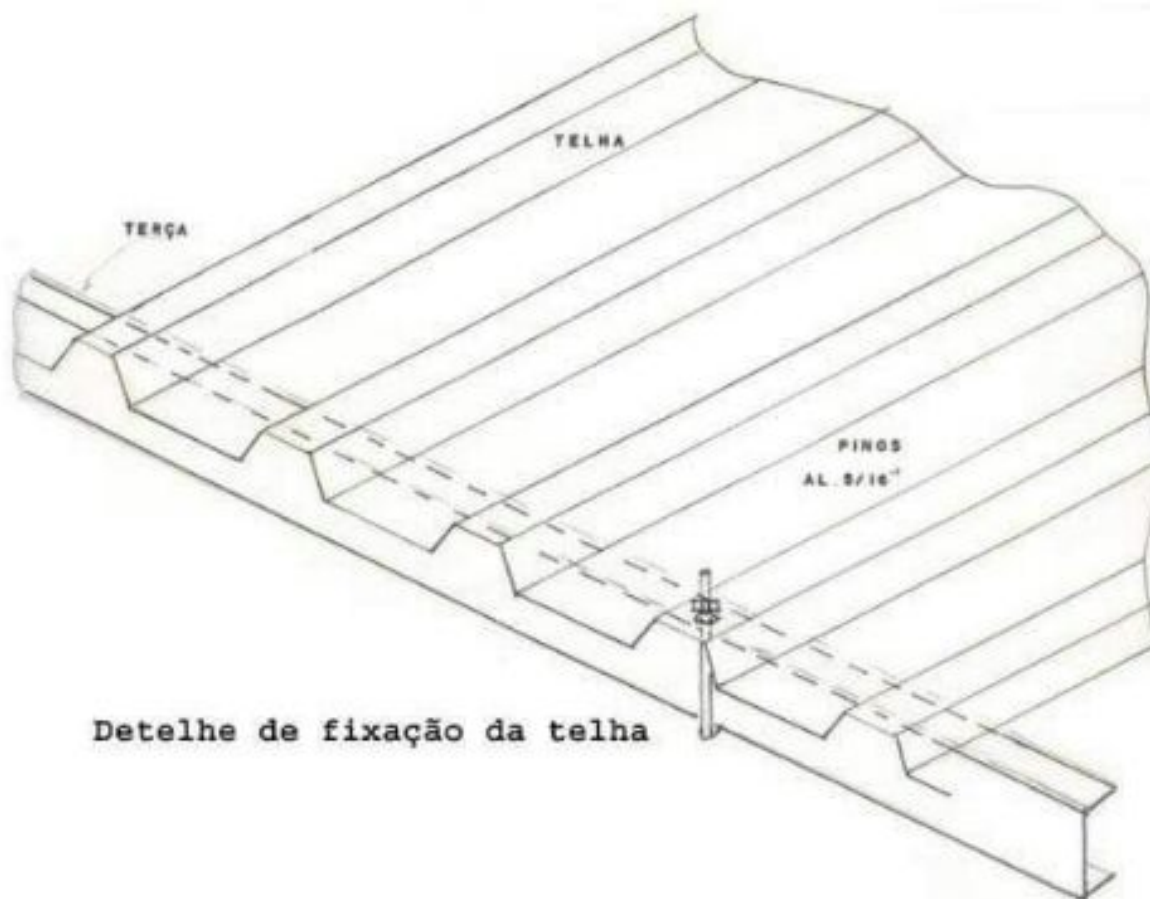
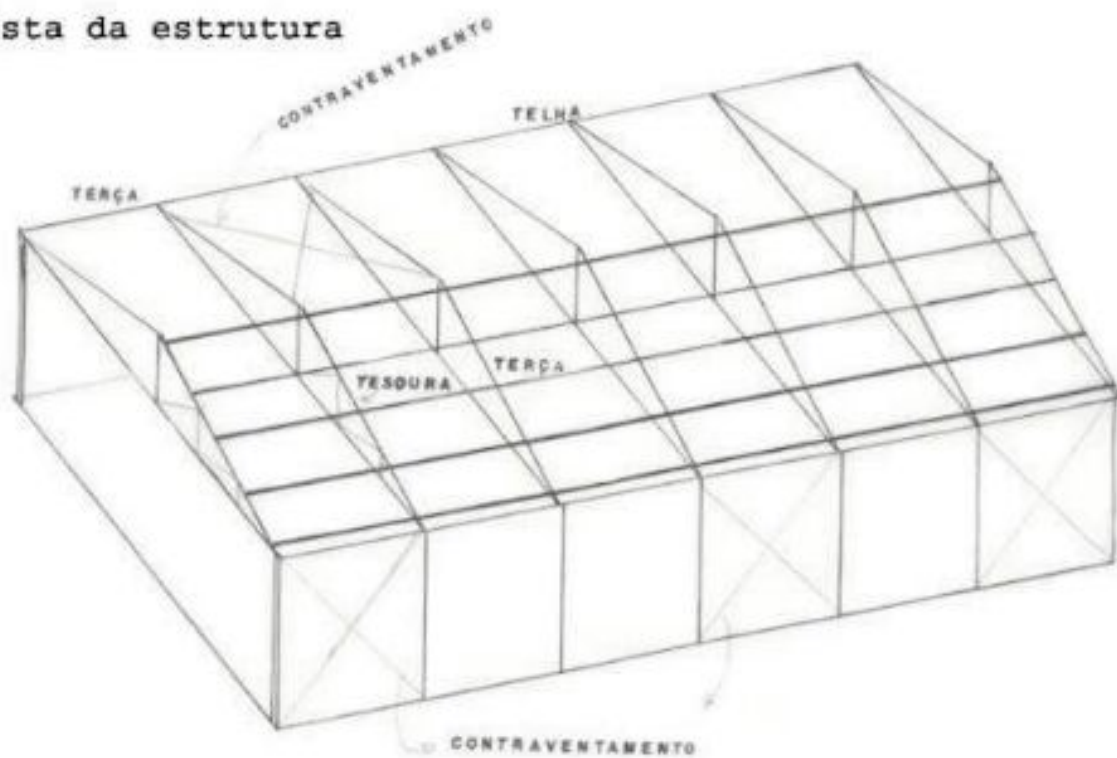
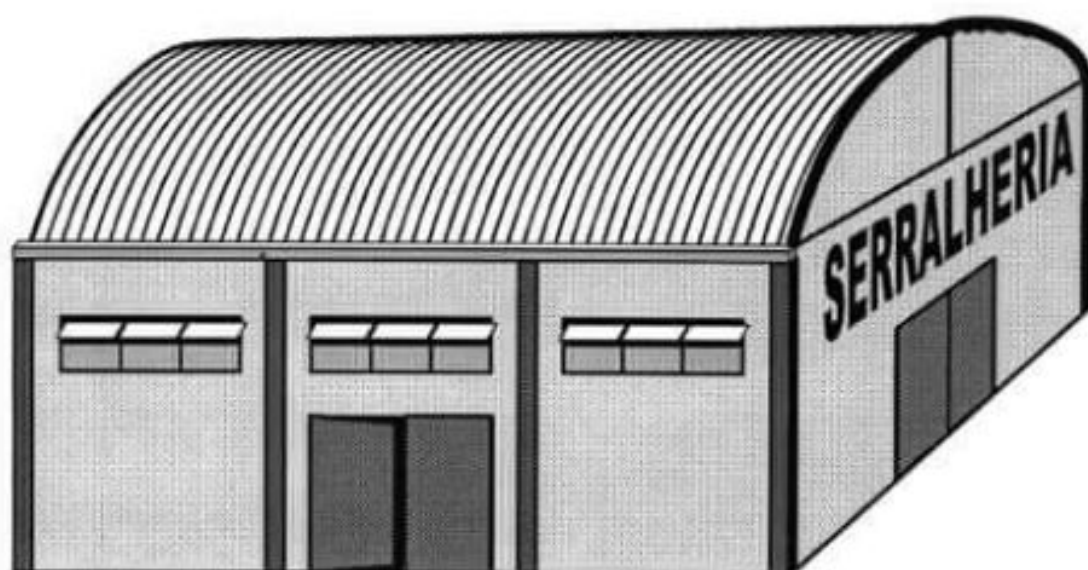
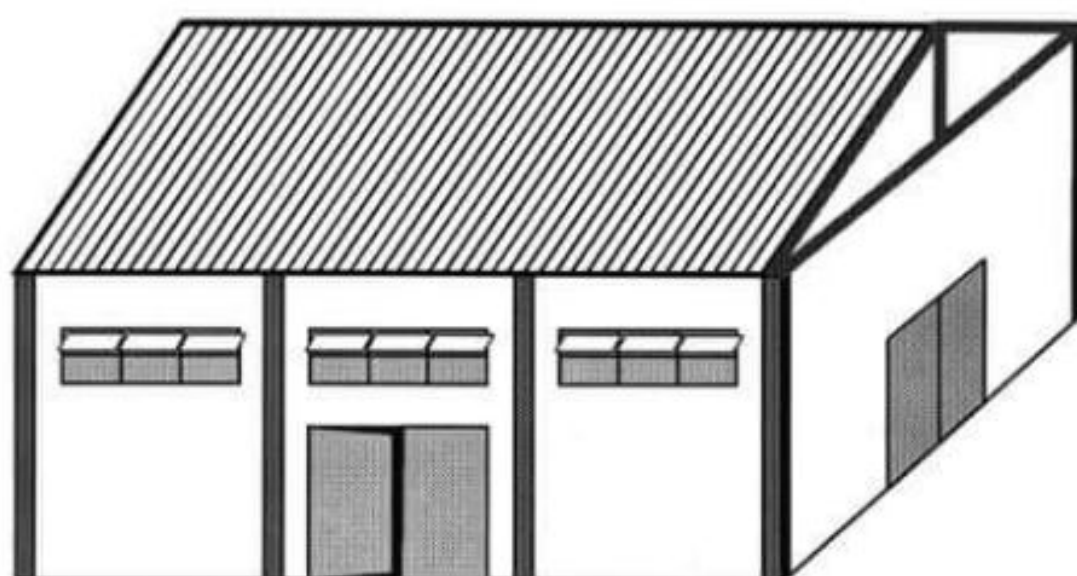
1/4"

2" (5.08)

Detalhe do canto da treliça

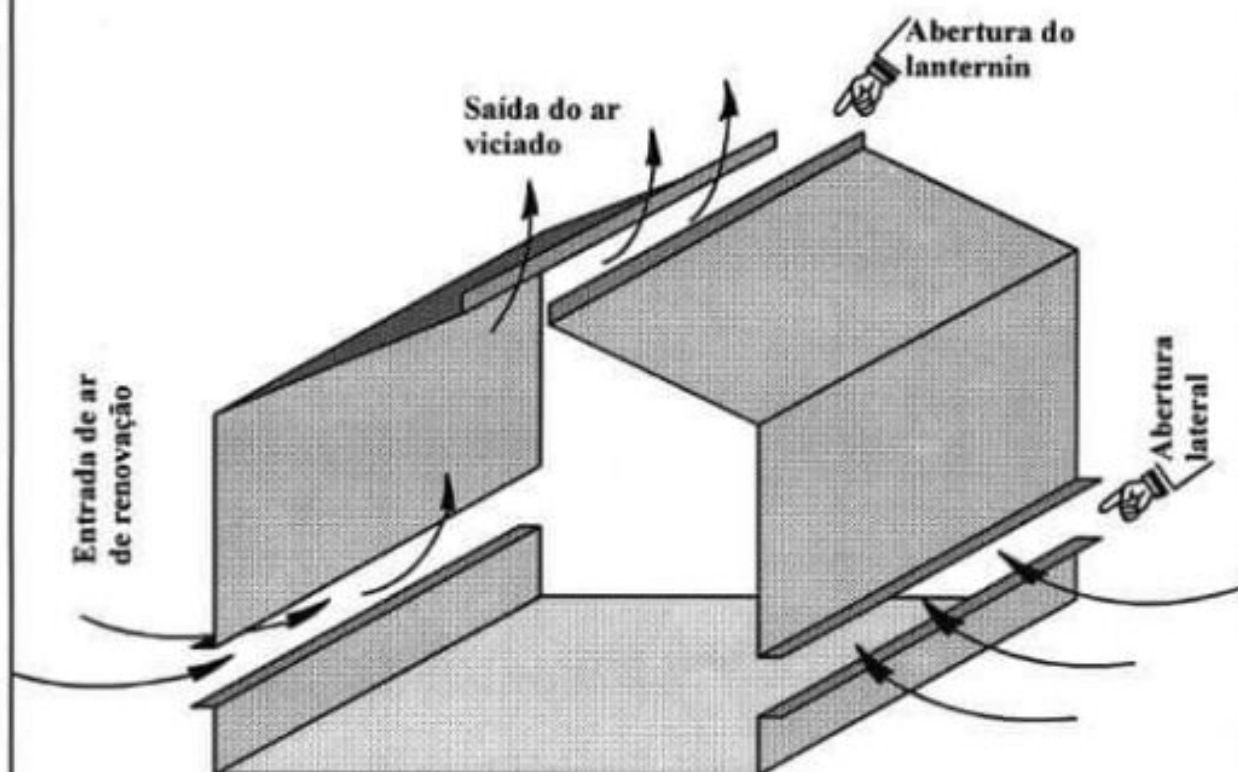
DETALHE DA VIGA BALDRAME
esc: 1:250
V 4 - V 3 (20x30)
4 Ø 3/8"
1 Ø 3/8"
30
BROCA
20
4 Ø 3/8"
EST 3/16" C/25 CM
30
Detalhe do Baldrame
CORTE DA VIGA BALDRAME
esc: 1:10

PILAR
5/8"
VIGA BALDRAME
30
20
Fundação
para meio
de sapata
TAXA DO TERRENO
T = 0.6 VG/CM²
CAPACIDADE DE CARGA
CO 6,0 TONELADAS
1,8 m
20
15
15
80

DETALHE DO BLOCO
E BROCA DE FUNDAÇÃO
CORTE DA SAPATA
4 Ø 3/8"
EST 3/16" C/30
5/8"
60 CM
PILAR
5/16"
SAPATA
30
10
BROCA Ø 20 CM
PROFUNDIDADE MÍNIMA = 2,0 m

FERRAGEM DA SAPATA

OBS: ESTE CONTRAVENTAMENTO SÓ SERÁ NECESSÁRIO CASO O GALPÃO FIQUE ABERTO

Cont. no plano das treliças

Detelhe de fixação da telha

Vista da estrutura

MODELO DE GALPÃO EM ARCO

MODELO DE GALPÃO EM TESOURA

ESQUEMA de VENTILAÇÃO NATURAL

1. ABERTURA DO LANTERNIN

2. ABERTURAS LATERAIS

ILUMINAÇÃO NATURAL DE GALPÕES

Os principais sistemas de galpões em duas águas com iluminação natural estão indicados na **figura 58.**

a) Faixa ou janelas nas paredes da periferia.

b) Faixa de telhas translúcidas na cobertura. Solução inadequada nos países tropicais, devido à incidência direta de raios solares.

c) Lanternim longitudinal com faixa de iluminação na parte vertical.

d) Lanternim transversal com paredes verticais em material translúcido.

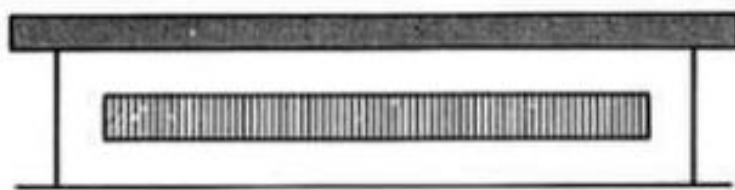
A **figura 59** dá dois sistemas de iluminação natural de galpões com cobertura em shed:

a) Galpão com shed retangular e faixas de iluminação nas paredes verticais.

b) Shed com iluminação na parte vertical do dente. Para evitar a incidência direta dos raios solares, não se emprega nos países tropicais a face menor do dente inclinada, embora esse procedimento melhore substancialmente a iluminação interna.

A forma da seção transversal do galpão e o projeto de suas paredes e coberturas são influenciados pelos lanternins e janelas ou faixas de iluminação nas fachadas. A disposição e as dimensões dessas superfícies de iluminação são função dos trabalhos a serem executados no galpão.

Para esclarecer, transcrevemos alguns dados da norma experimental P-NB-57/69 de iluminamento mínimo de superfícies de trabalho, de acordo com a finalidade a que se destinam. Os valores são dados em unidades de iluminamento (lux).

Figura 58 – **TIPOS DE GALPÕES EM DUAS ÁGUAS COM ILUMINAÇÃO NATURAL**

a) Faixa ou janelas nas paredes da periferia

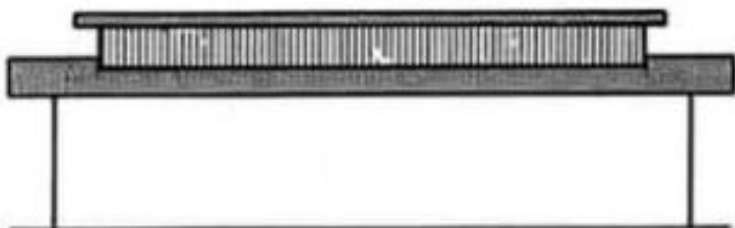
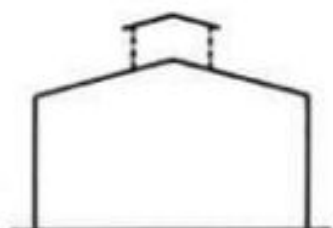
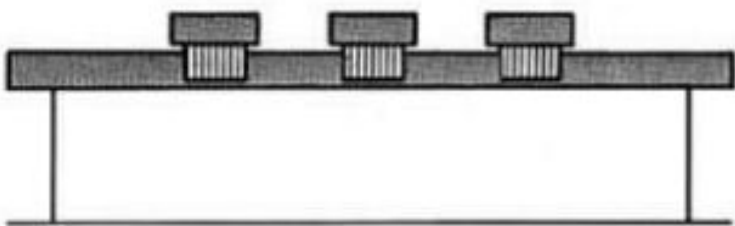
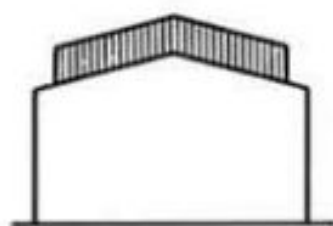
b) Faixa de telhas translúcidas na cobertura. Solução inadequada nos países tropicais devido a incidência direta de raios solares.

c) Lanternim longitudinal com faixa de iluminação na parte vertical

d) Lanternim transversal com paredes verticais em material translúcido

Figura 59 – **TIPOS DE GALPÕES COM ILUMINAÇÃO NATURAL**

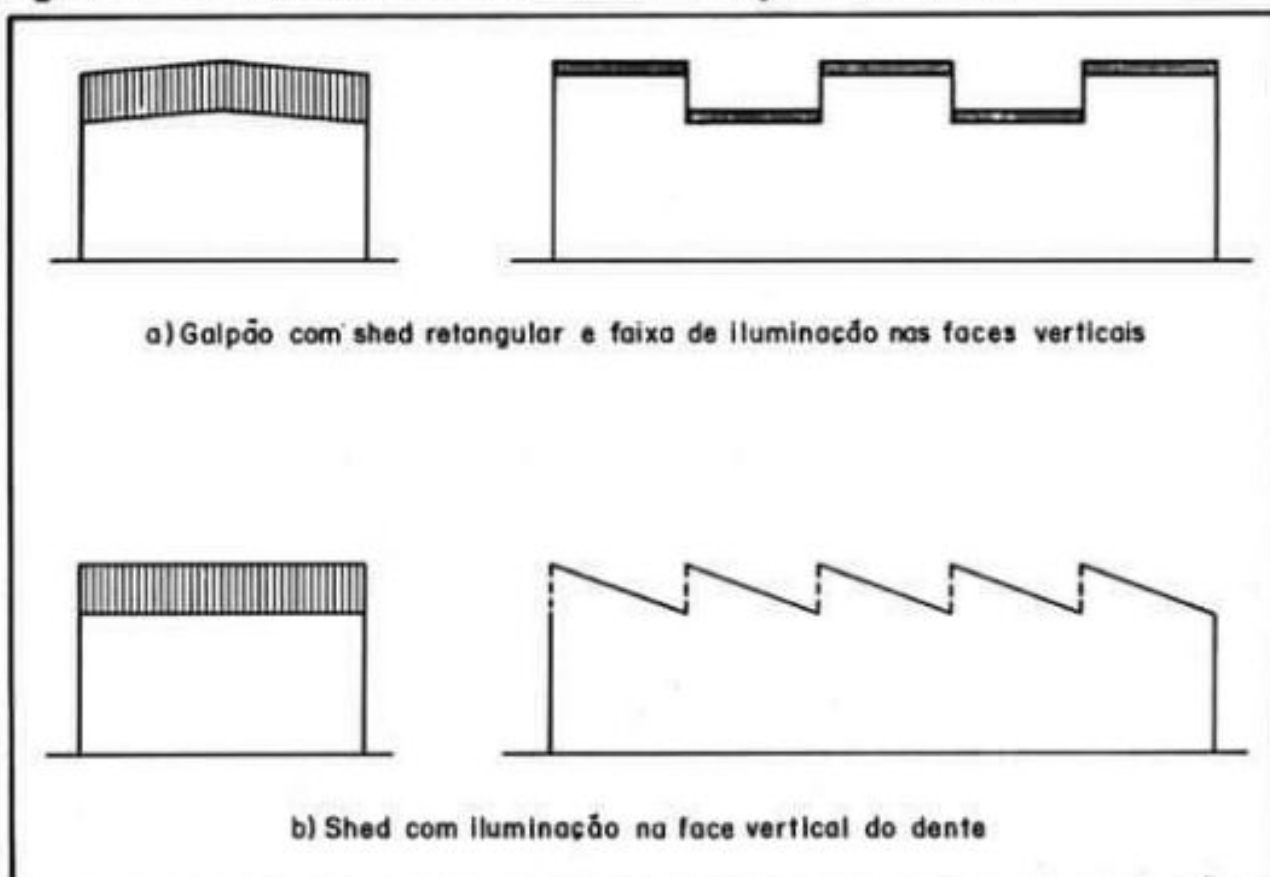
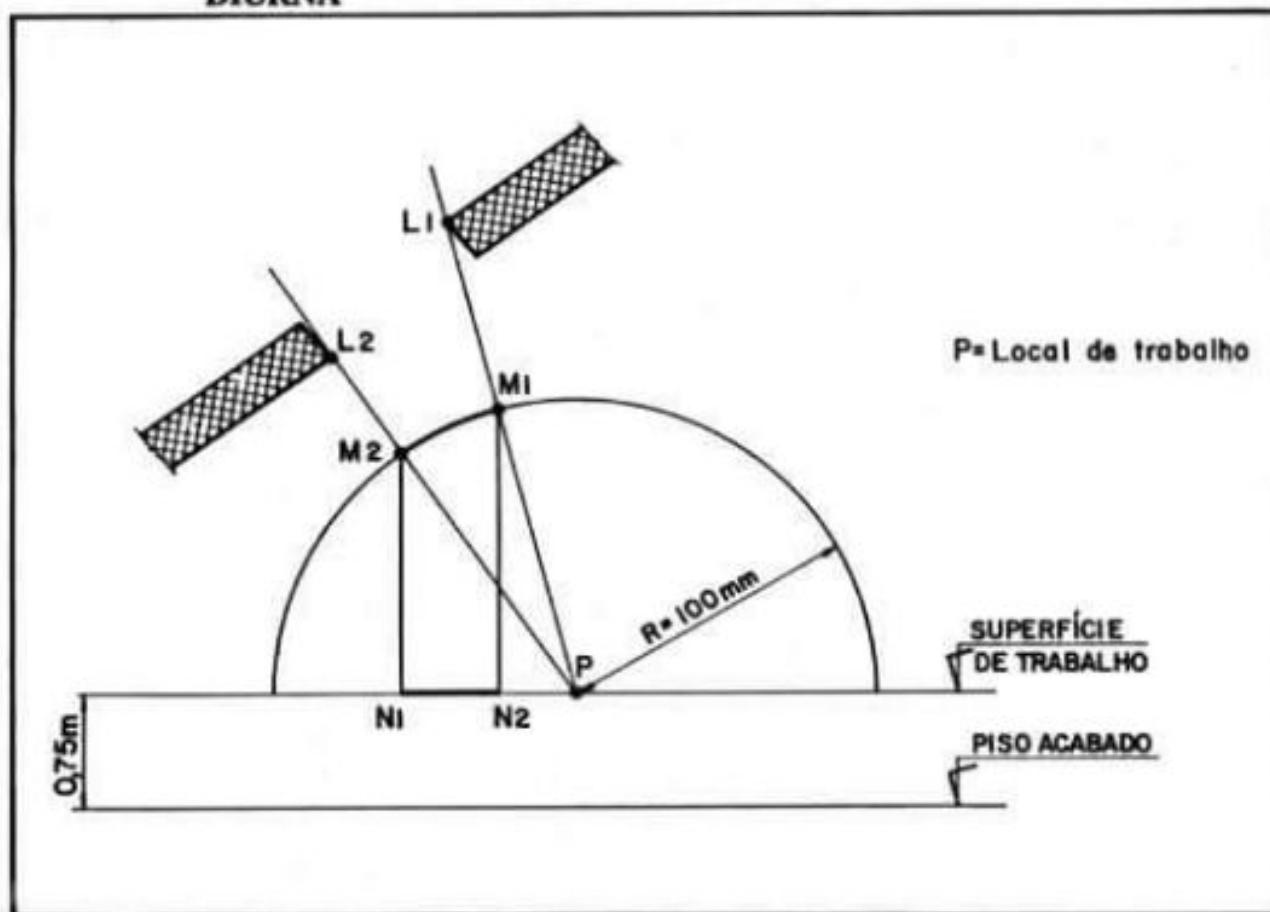



Figura 60 – **PROCESSO GRÁFICO DE DETERMINAÇÃO DO QUOCIENTE DA LUZ DIURNA**

Os valores necessários de iluminamento mínimo são classificados em quatro grupos indicados na tabela:

ILUMINAMENTOS, EM LUX, POR CLASSES DE TAREFAS VISUAIS (P-NB-57)

CLASSE	LUX
Mínimo para ambientes não destinados ao trabalho	100
Mínimo para ambientes de trabalho	150
CLASSE I	
Observações visuais simples e variadas	500 – 250
CLASSE II	
Observações contínuas de detalhes médios e finos	1000 – 500
CLASSE III	
Tarefa visual contínua e precisa (desenhos por exemplo).	2000 – 1000
CLASSE IV	
Trabalhos muito finos (consertos de relógios por exemplo)	acima de 2000

ILUMINAMENTOS, EM LUX, POR TAREFA VISUAL GERAL

TAREFA	LUX
Trabalho bruto	500 – 250
Trabalho normal	1000 – 500
Trabalho fino	2000 – 1000
Trabalho muito fino.	acima de 2000

Os valores de iluminamento horizontal ao ar livre variam, de acordo com as estações do ano e no transcorrer de um dia,, de zero a 100.000 lux. Como referência é tomado um valor que corresponde ao iluminamento ao ar livre em um dia encoberto de inverno. O quociente de luz diurna é definido como a relação entre o iluminamento de um elemento de superfície horizontal no interior do edifício e o equivalente no exterior do dia tomado como padrão.

O quociente da luz diurna pode ser obtido por processo gráfico bastante simples.

O processo gráfico de determinação do quociente da luz diurna se restringe à consideração da parcela mais importante da iluminação natural, que é a da luz direta da abóbada celeste, que incide sobre a superfície de trabalho. As parcelas relativas à reflexão nas paredes e coberturas não são consideradas, por serem, de modo geral, pequenas e dependentes da conservação da pintura. O local de trabalho é considerado a 0,75 metros do piso acabado.

Figura 61 – **COMPARAÇÃO ENTRE A ILUMINAÇÃO DE DOIS TIPOS DE SHEDS**

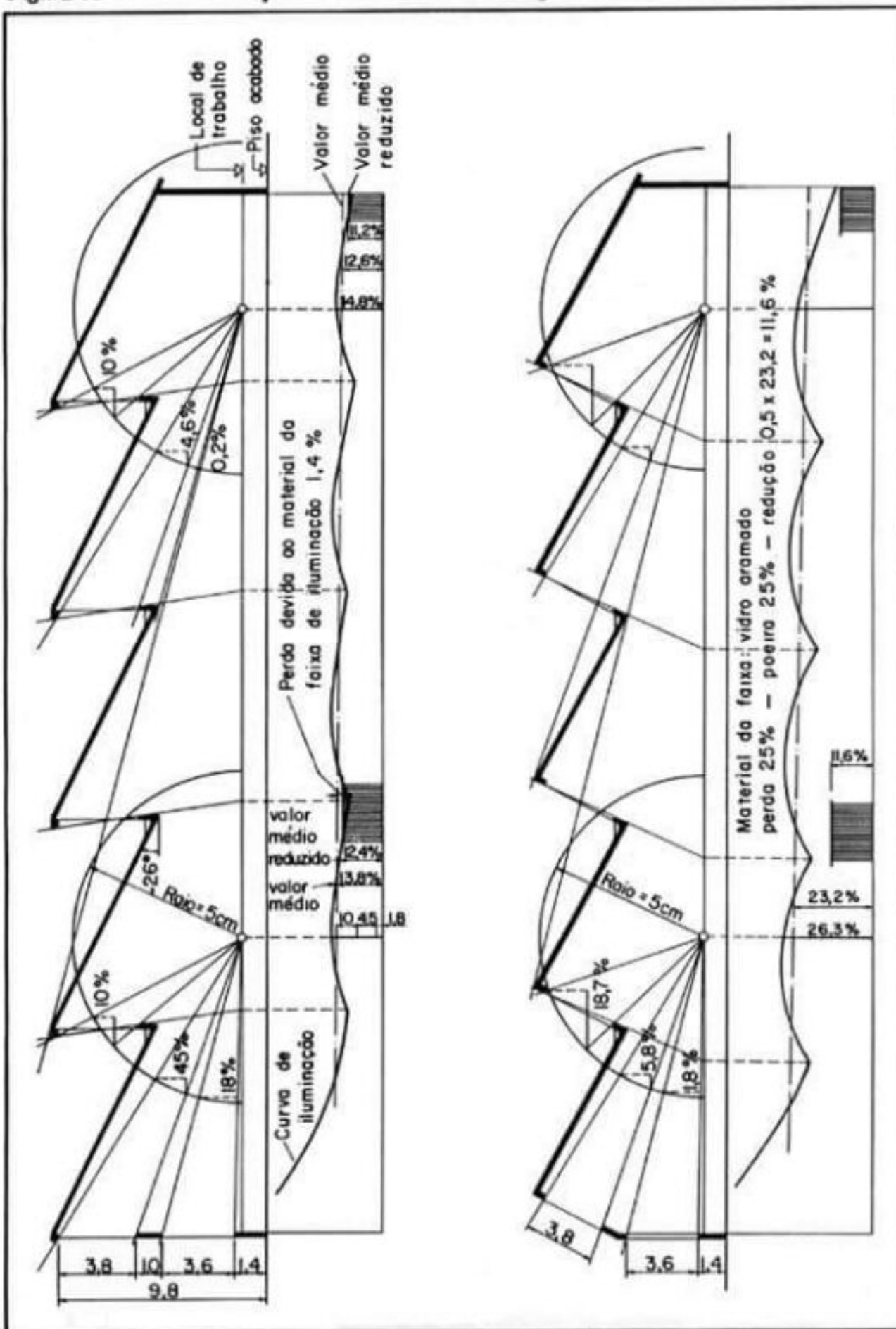



Figura 62 – **CURVAS DE ILUMINAÇÃO PARA DIFERENTES TIPOS DE GALPÕES**

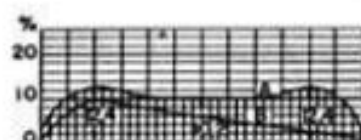
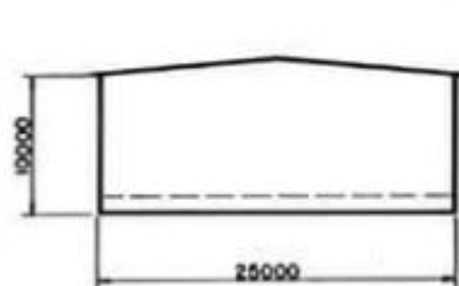
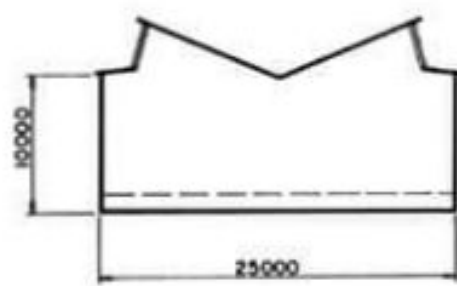
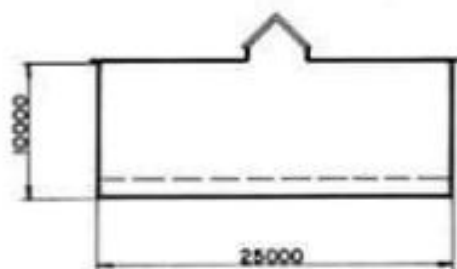
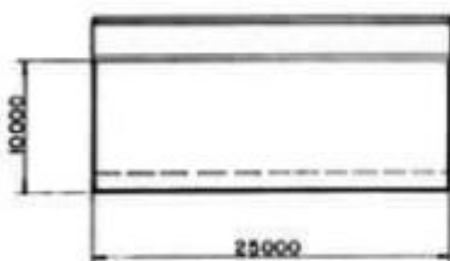
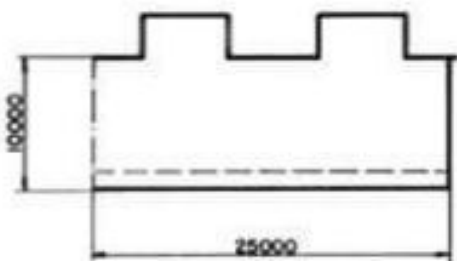
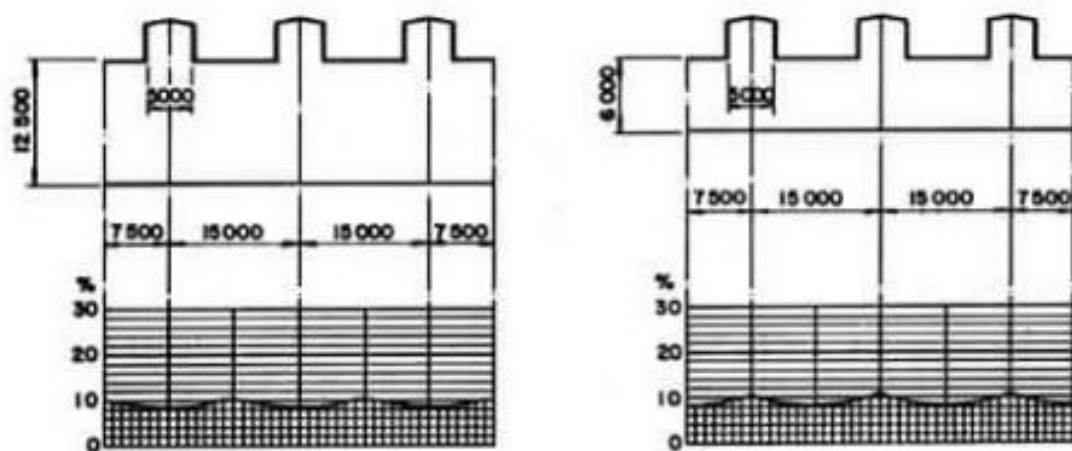
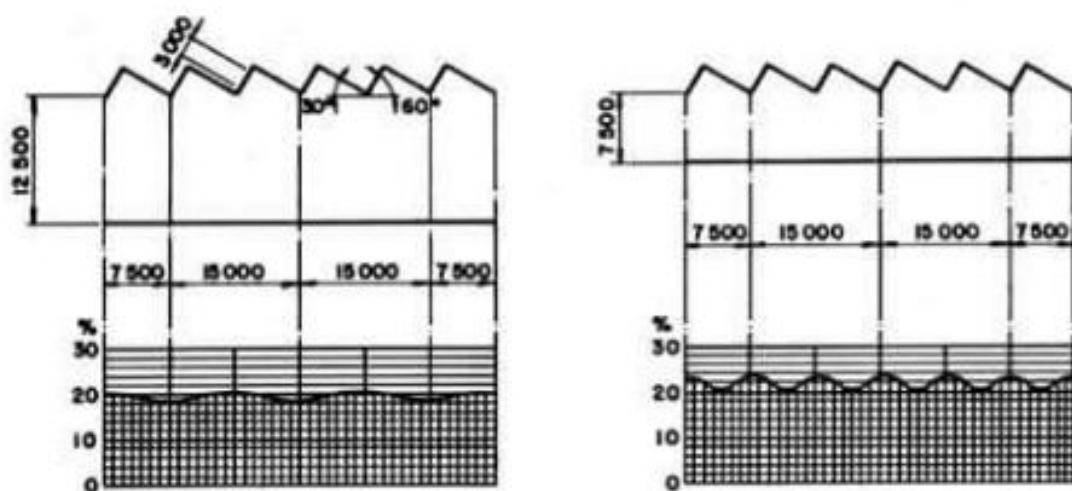
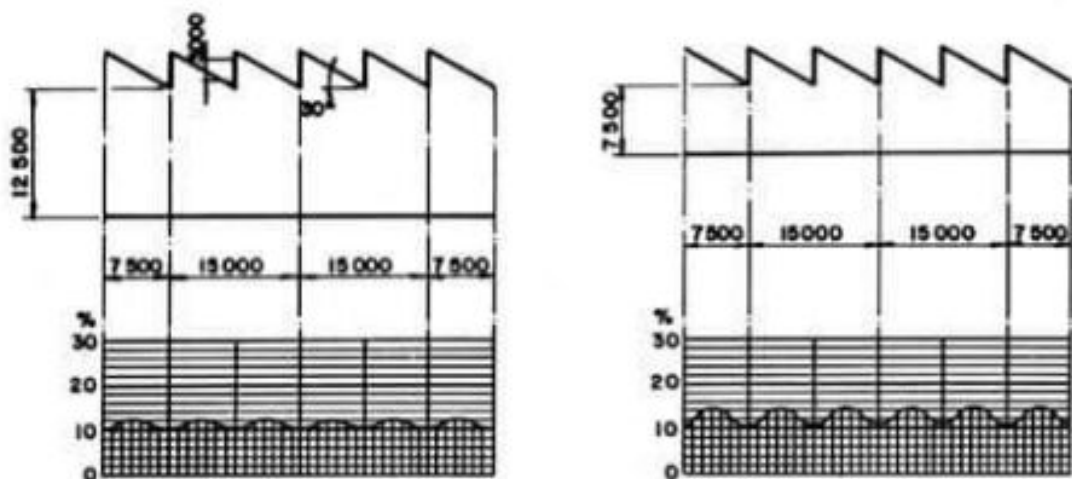



Figura 63 – **CURVAS DE ILUMINAÇÃO PARA GALPÕES DO MESMO TIPO, COM ALTURAS DIFERENTES**

A parte visível da abóbada celeste vista de P fica limitada pelos pontos L_1 e L_2. Os raios luminosos PL_1 e PL_2 cortam no círculo de diâmetro D o arco M_1M_2. A projeção desse arco sobre o local de trabalho fornece o segmento N_1N_2. De acordo com a definição, o quociente da luz diurna é igual à relação $\frac{N_1 N_2}{D}$.

Escolhendo para diâmetro o valor 100mm, o segmento N_1N_2, medido em mm, fornece o quociente da luz diurna em porcentagem.

Tomando-se como ordenadas, os quocientes da luz diurna para vários pontos, obtém-se a curva de iluminação, que fornece idéia do valor e distribuição da luz natural no interior do galpão.

A **figura 61** apresenta comparação entre a iluminação de dois galpões em shed com a mesma altura. O primeiro, com a face de iluminação disposta verticalmente, e o segundo com a face de iluminação inclinada.

Nas **figuras** 62 e 63 são mostrados alguns exemplos de galpões com forma e altura diferentes, com as respectivas curvas de iluminação.

Convém ressaltar que parte da luz natural incidente se perde, devido aos caixilhos, ao material da faixa de iluminação (vidro, telhas transparentes ou translúcidas) e à película de poeira que com o tempo adere à superfície do material. Para exemplificar, são citados alguns valores médios para tais perdas:

a) Os caixilhos, quando se encontram na faixa de iluminação, podem reduzir a iluminação para 32% do valor sem obstrução.

b) Perda de iluminação devido ao tipo de vidro aplicado:

Vidro aramado	75%
Vidro liso.	87%
Vidro fosco	66%

c) Perda de iluminação devido à poeira, em função da declividade da superfície:

45°.	74%
60°.	75%
90°.	94%

O conhecimento de regras básicas sobre iluminação pode melhorar a iluminação natural e, em conseqüência, as condições de conforto e economia no trabalho.

VENTILAÇÃO NATURAL

Considerações Gerais

A ventilação dos galpões tem a finalidade de regular o calor e a umidade, eliminar a poeira, os vapores e os gases provenientes do funcionamento da instalação, assim como fazer circular o ar fresco dentro do galpão.

O projeto e as medidas tomadas na construção para se conseguir uma boa ventilação natural são normalmente simples e de baixo custo.

Como ventilação natural, entende-se a renovação de ar, provocada pelo vento ou pelo movimento ascendente do ar quente ("efeito de lareira").

Na maioria dos casos, a ventilação conseguida por janelas, aberturas nas fachadas e lanternins é suficiente. Nos galpões que ocupam grandes áreas, a ventilação natural pode ser dificultada. Nas indústrias químicas ou usinas siderúrgicas, pode tornar-se necessária a exaustão local com coifas e chaminés, para eliminar vapores ou gases liberados por equipamentos. Mesmo nos casos de ventilação ou exaustão forçada, é necessário o conhecimento dos princípios básicos de ventilação, para tirar partido da ventilação natural.

É comum a ocorrência de galpões com ventilação insuficiente ou inadequada, principalmente nas construções onde é liberada grande quantidade de calor, como em edifícios de aciarias, lingotamento, laminações, fundições etc.

Nos galpões onde são liberados gases, vapores ou ar quente, torna-se obrigatório o emprego de lanternins de ventilação. A eficácia dos lanternins de ventilação depende da adequada localização e correto dimensionamento das aberturas de entrada de ar fresco e saída de ar viciado. A ventilação natural funciona, mesmo no caso de não haver vento, devido ao "efeito de lareira", cuja influência é mais acentuada que a do vento.

Noções sobre Ventilação Natural

Apenas para efeito de informação, são representados na **figura 64** os principais fatores que controlam a ventilação natural pelo "efeito de lareira".

Figura 55 – **LANTERNIM LONGITUDINAL**

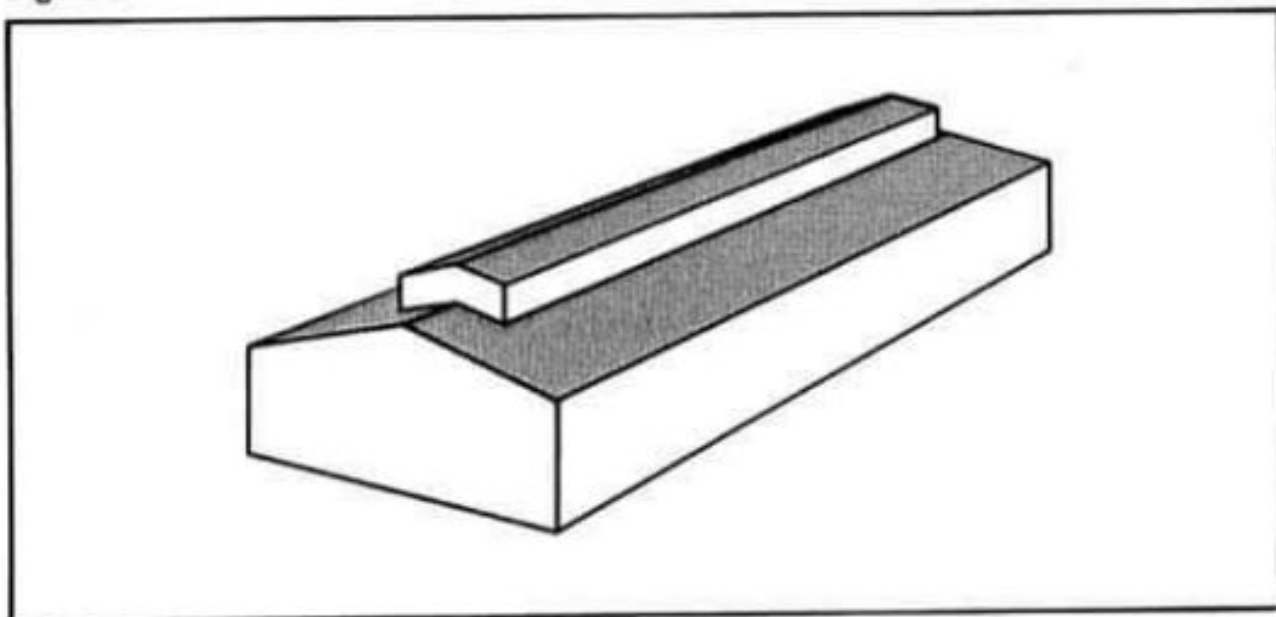



Figura 56 – **LANTERNINS TRANSVERSAIS**

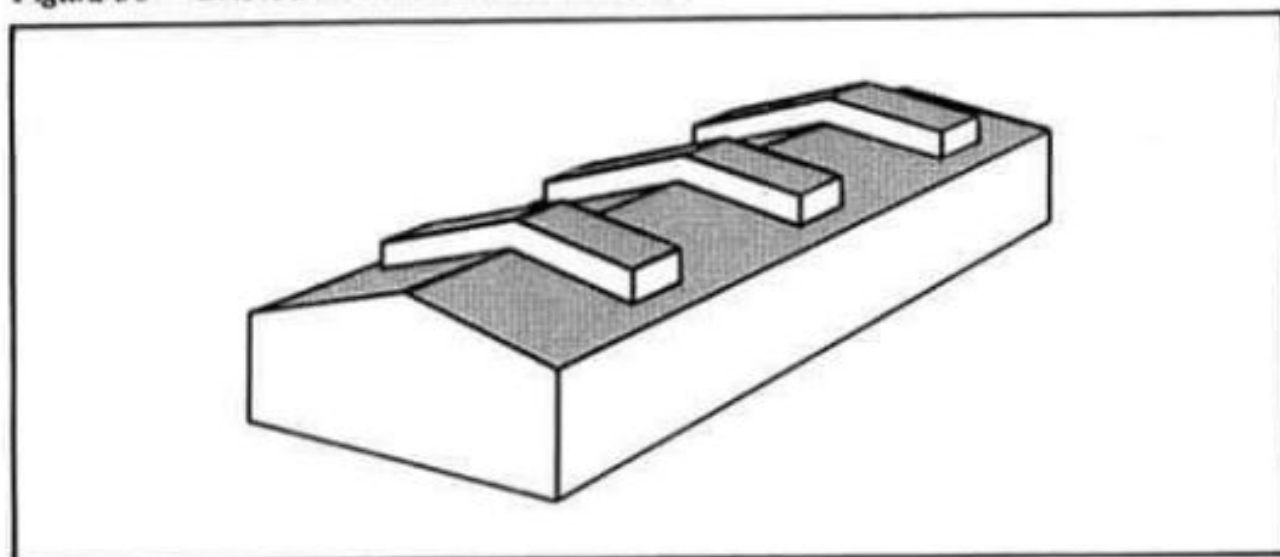



Figura 57 – **LANTERNINS DE SHEDS**

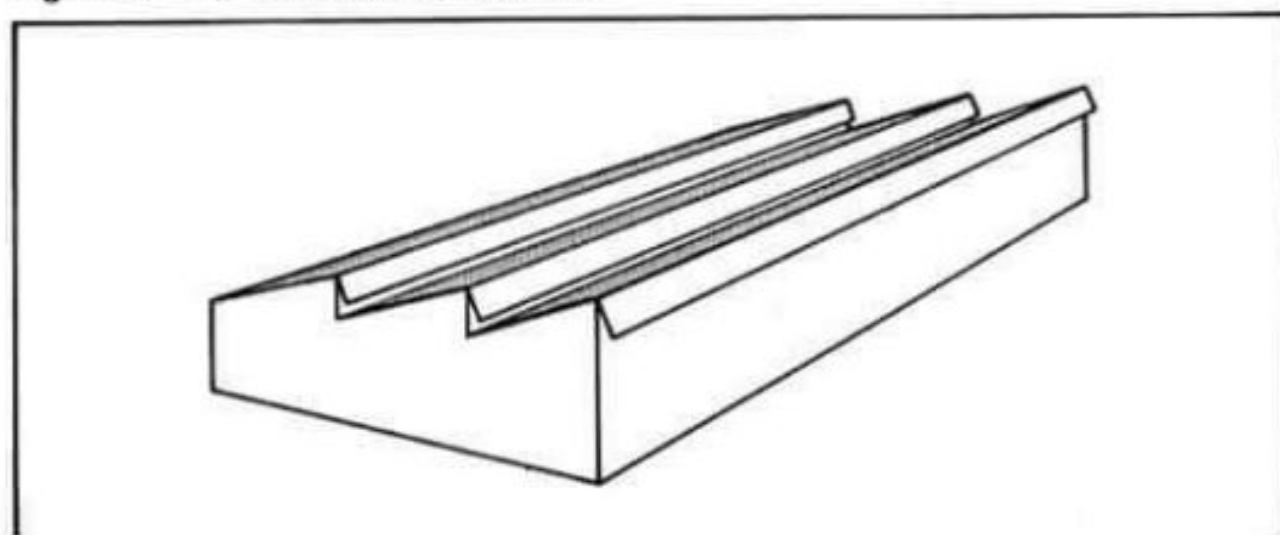
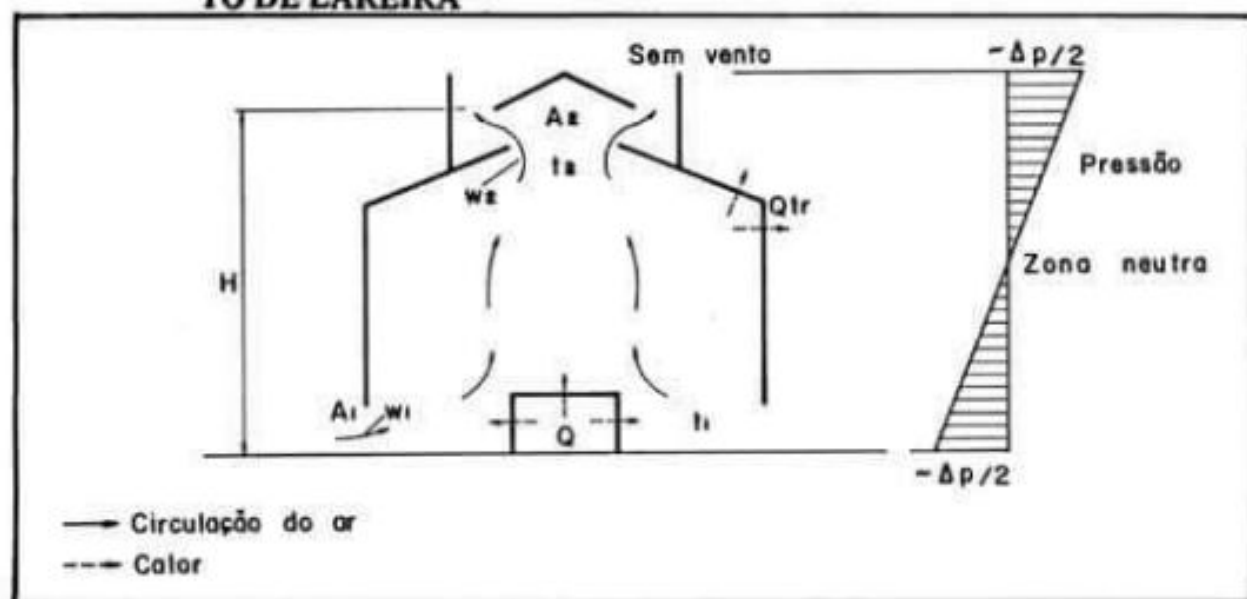



Figura 64 – **FATORES QUE INFLUEM NA VENTILAÇÃO NATURAL PELO "EFEITO DE LAREIRA"**

Os significados das notações empregadas são abaixo descritos:

A_1 – Seção de entrada do ar
A_2 – Seção de saída do ar
H – Altura do galpão
Q – Calor liberado pelo equipamento
Q_{tr} – Calor transmitido através das paredes e cobertura
W_1 – Velocidade do ar na entrada
W_2 – Velocidade do ar na saída
t_1 – Temperatura do ar na entrada
t_2 – Temperatura do ar na saída
Δp – Variação de pressão em relação ao exterior.

Não está considerada, na figura, a influência do vento.

O cálculo das seções de entrada e saída leva em consideração os diversos fatores acima relatados, porém não será desenvolvido no presente trabalho, por fugir ao seu propósito.

Apenas como regra geral, considera-se que os valores calculados deverão ser aumentados em cerca de 15 a 25% nos tipos mais usuais de tomadas de ar e lanternins, devido à redução da velocidade do ar na entrada e saída, face ao estrangulamento causado por tais aberturas.

Como o cálculo das aberturas leva a fórmulas trabalhosas, na prática utilizam-se gráficos que simplificam o trabalho.

O importante é levar em consideração os seguintes fatores:
– Determinar A_2 o mais correto possível.
– A_1 deve ser igual, ou de preferência um pouco maior que A_2.
– Em regiões onde as diferenças de temperatura no verão e inverno são muito acentuadas, pode tornar-se interessante projetar A_2 e A_1 variáveis.
– A_1 e A_2 devem ser distribuídos ao longo dos galpões de acordo com as fontes de calor.
– Para se tirar melhor proveito do "efeito de lareira", a abertura A_1 deve ser localizada o mais baixo possível e A_2 no ponto mais alto da cobertura.

Figura 65 **GALPÃO SEM TOMADA DE AR**

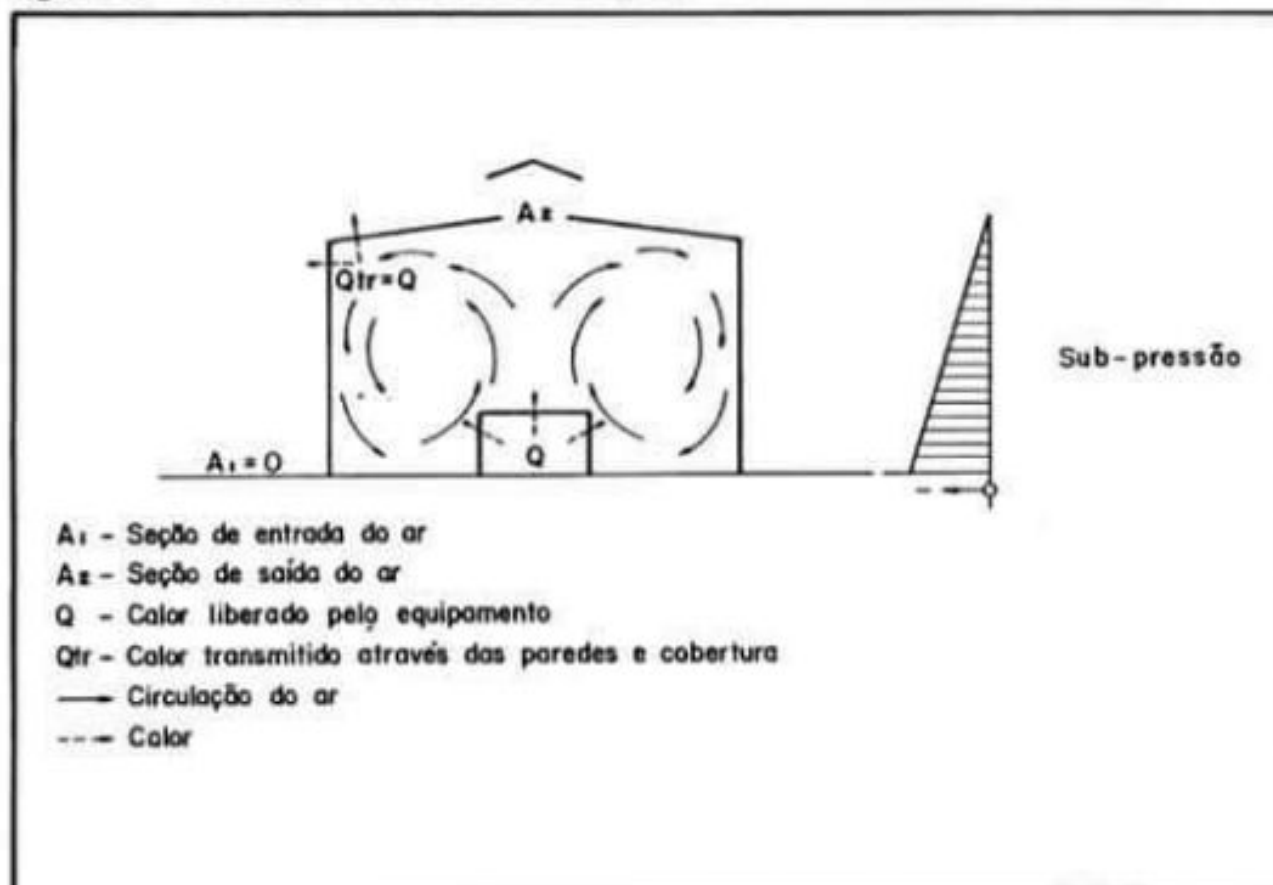
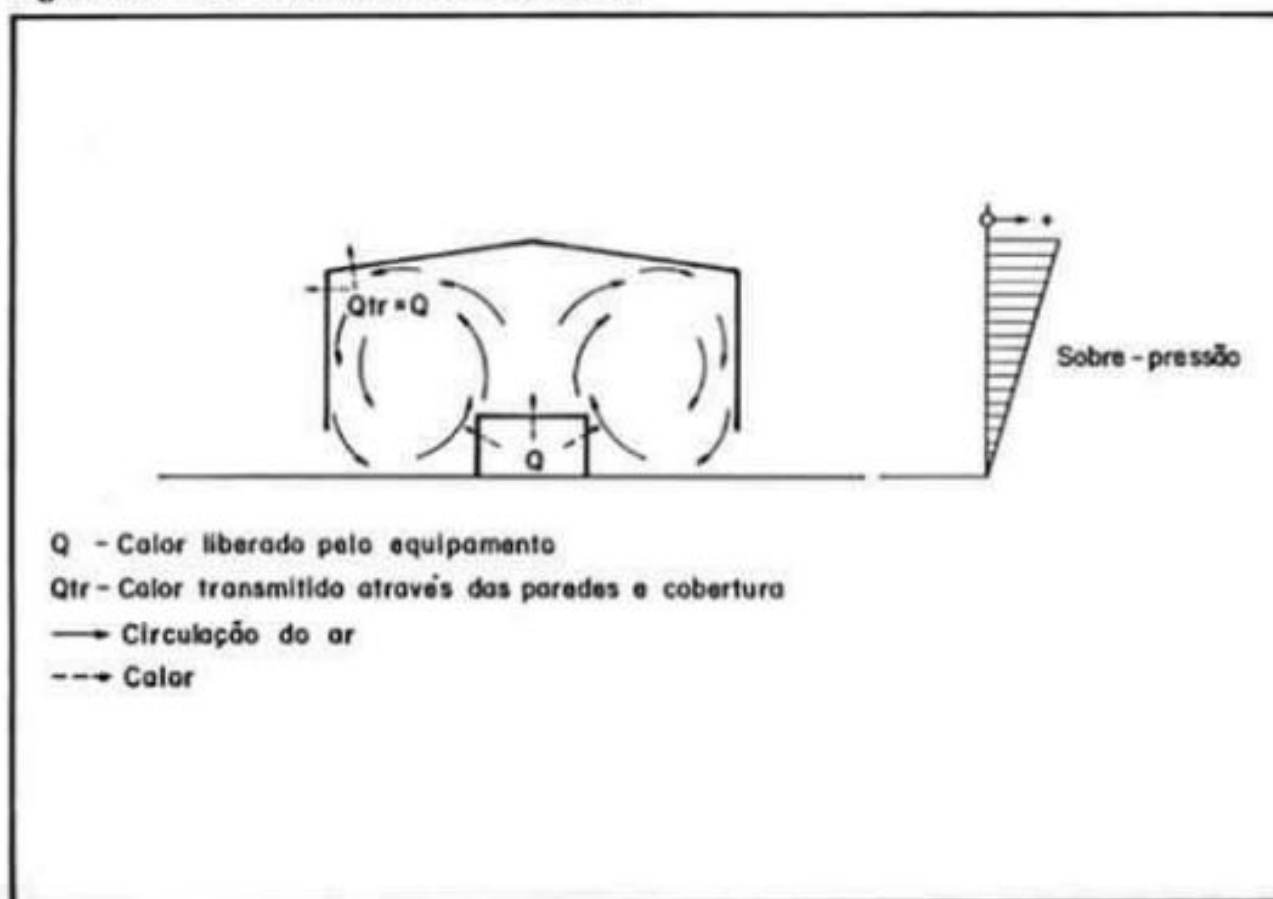



Figura 66 – **GALPÃO SEM SAÍDA DE AR**

Casos Limites

Para realçar melhor a importância das aberturas de entrada e saída de ar, serão a seguir feitas considerações sobre dois casos limites, ambos levando em conta ausência de vento.

O primeiro caso considera um galpão sem tomada de ar, porém com abertura na parte superior do galpão.

Forma-se no interior do galpão uma zona de baixa pressão, que impede a saída do ar. Formam-se correntes de ar, conforme indicam as setas cheias na **figura 66**, mesmo para fontes de calor regulares, e a temperatura vai-se elevando até valores intoleráveis na altura das pontes rolantes. A única perda de calor é obtida por transmissão, através das paredes e cobertura.

O segundo caso considera um galpão com tomada de ar na parte inferior, porém, sem saída de ar na parte superior **(Figura 66)**

A variação da pressão no interior do galpão é inversa à do caso anterior: na parte inferior não há diferença de pressão em relação ao exterior, enquanto, no interior, a pressão aumenta em função da altura. Também nesse caso formam-se correntes de ar no interior e a temperatura aumenta até ser atingido o valor de $Q_{tr} = Q$.

A **figura 67** indica um galpão com tomada e saída de ar corretas. Pelo diagrama da variação de pressão verifica-se que, nesse caso, não faz sentido colocar aberturas para ventilação na zona de pressão nula.

O ar procura seguir sempre o menor caminho entre a tomada e a saída, o que às vezes dificulta a ventilação de galpões de grandes áreas.

Outros cuidados devem ser tomados com relação à penetração de chuva, conforme pode ocorrer nos casos da **figura 68, a e b.**

Na **figura 69** são mostrados vários tipos de lanternins de autoventilação, com formas adequadas que impedem a penetração de chuvas de vento.

Nas **figuras** a seguir são mostrados exemplos de lanternins de obras executadas no País.

A **figura 70** mostra um lanternim de ventilação natural em um galpão de laminação, sem cuidados especiais para impedir penetração de respingos ou chuva.

A **figura 71** indica um lanternim mais moderno em um galpão de lingotamento contínuo, que além de funcionar pelo "efeito de lareira" na ausência de vento, facilita a sucção, com o vento atuando em qualquer direção, e impede a penetração de chuvas de vento.

Na **figura 72** é indicado o tipo de lanternim mais comum em usinas siderúrgicas.

Figura 67 – **GALPÃO COM TOMADA E SAÍDA DE AR**

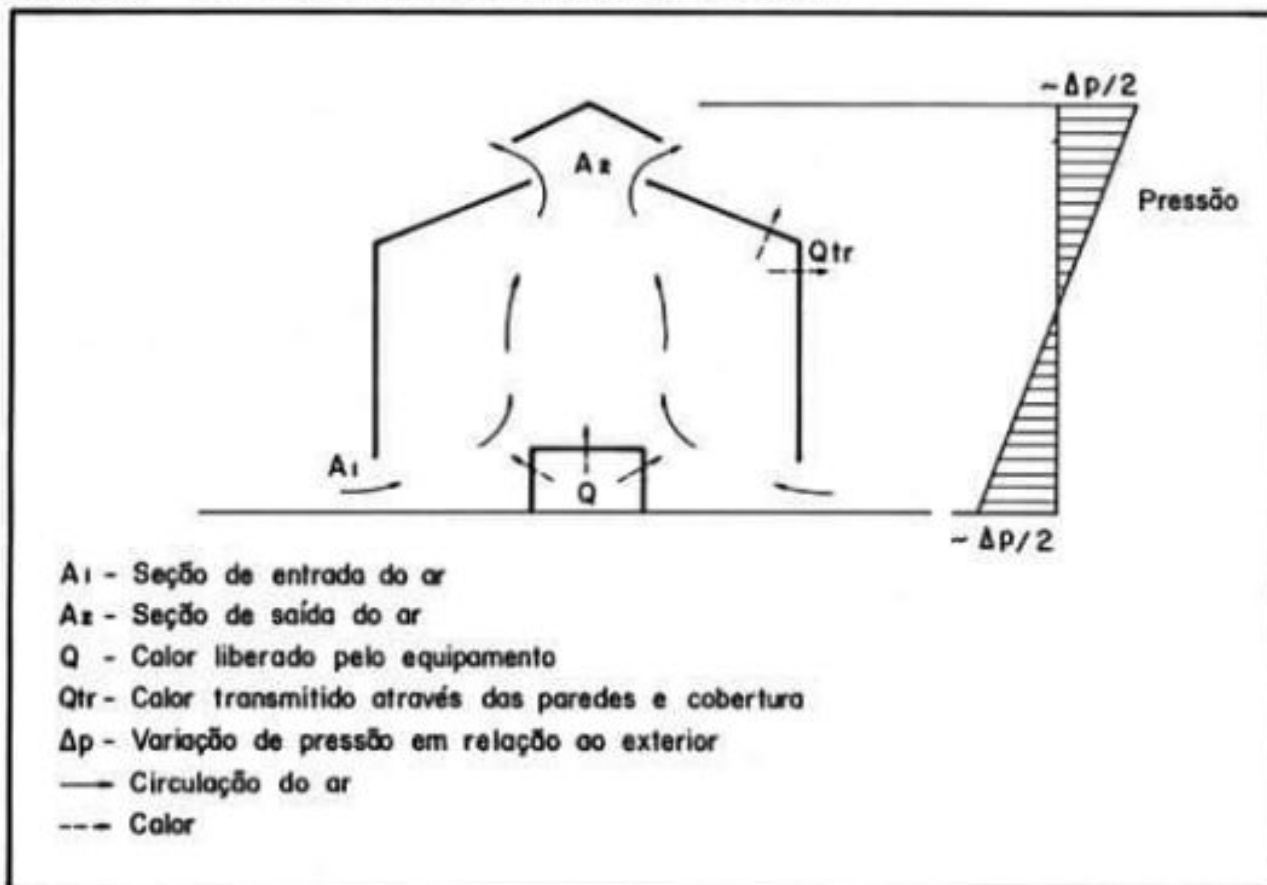



Figura 68 – **COMPARAÇÃO DE TIPOS DE LANTERNINS, CONSIDERANDO A POSSIBILIDADE DE PENETRAÇÃO DE CHUVA**

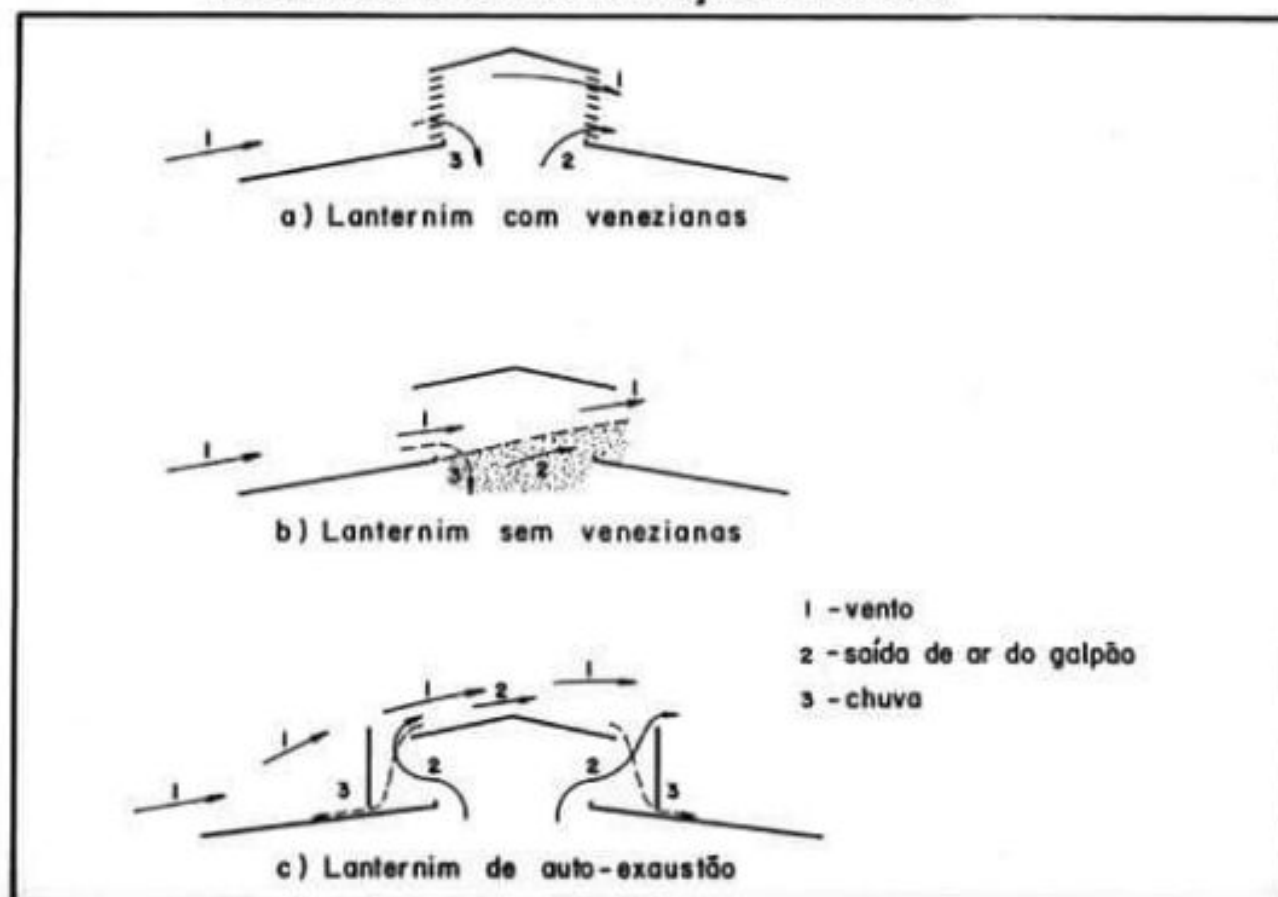



Figura 69 – **LANTERNINS DE VENTILAÇÃO NATURAL**

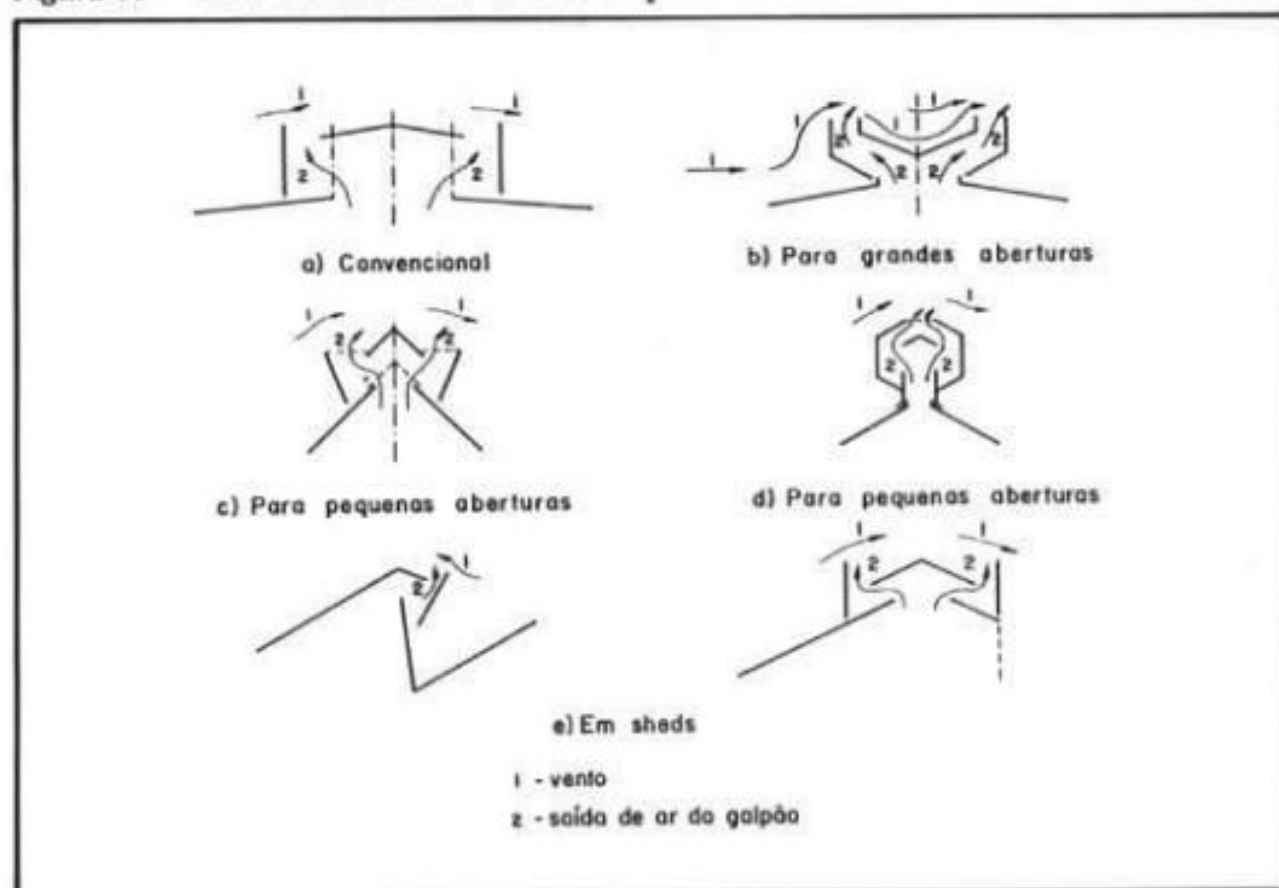



Figura 70 – **LANTERNIM DE VENTILAÇÃO NATURAL EM UM GALPÃO DE LAMINAÇÃO**

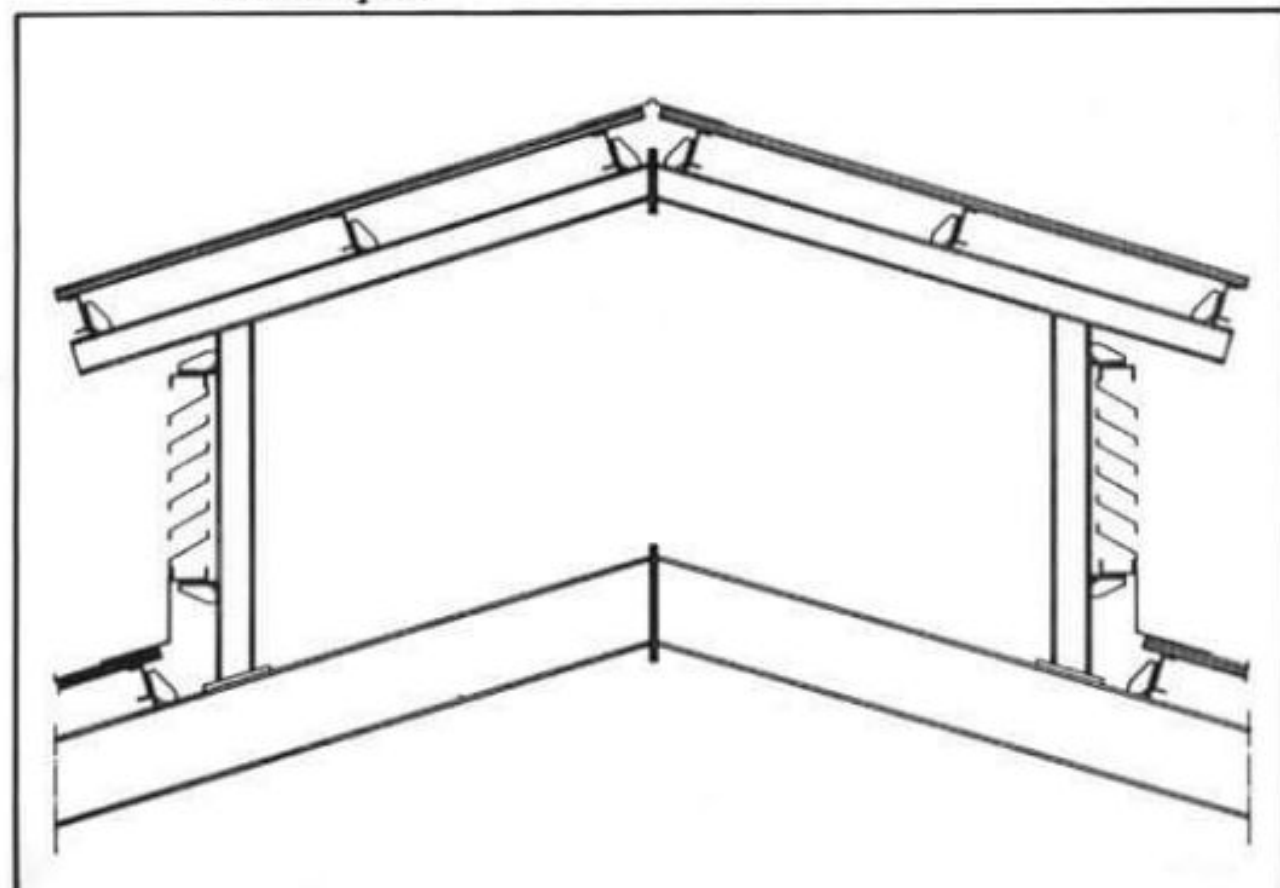



Figura 71 – **LANTERNIM ESPECIAL PARA EDIFÍCIO DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO**

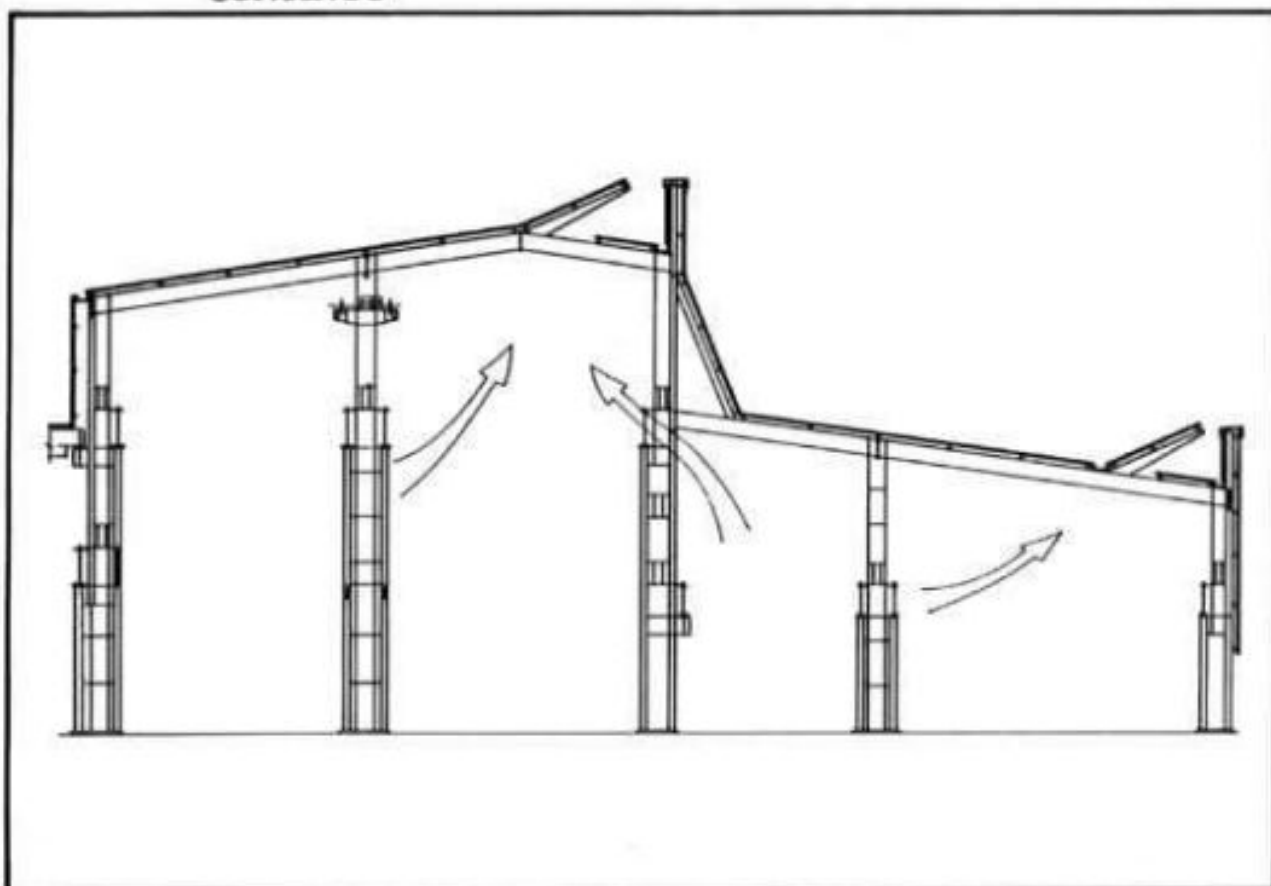



Figura 72 – **LANTERNIM EMPREGADO EM GALPÃO COM GRANDES FONTES DE CALOR**

MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS

Os meios de movimentação de cargas representam percentual elevado do custo total dos galpões industriais, especialmente no caso de fábricas. A utilização de equipamento adequado ao tipo de carga prevista pode ser decisiva para a viabilização de alguns projetos industriais.

Tipo

A movimentação de cargas em um galpão pode ser feita por equipamentos apoiados na estrutura ou nos pisos. Neste capítulo serão analisados apenas os equipamentos que transmitem cargas à estrutura, como pontes rolantes, semipórticos, monovias, braços giratórios e talhas. Não serão consideradas correias transportadoras, mesmo quando ligadas à estrutura, por só ocorrerem em casos especiais.

Como equipamentos não ligados à estrutura e que podem trabalhar em combinação com pontes rolantes, são citados: empilhadeiras sobre rodas, veículos sobre trilhos, caminhões, mesas transportadoras. São equipamentos complementares, normalmente utilizados no transporte transversal de cargas.

Os equipamentos de movimentação de carga que transmitem esforços às estruturas podem ser classificados em fixos e móveis.

Equipamentos Fixos

Como equipamentos fixos, citam-se as talhas fixas e braços giratórios, que são geralmente utilizados para pequenas cargas localizadas, como as que ocorrem na manutenção de equipamentos de fabricação.

Equipamentos Móveis

Como equipamentos móveis citam-se pontes rolantes, semipórticos, pontes em consolo e guinchos em monovias.

Os principais equipamentos de movimentação de cargas em edifícios industriais são as pontes rolantes, que, além de serem adequadas a múltiplas situações, possuem a característica de deixar livre o piso do galpão.

Para cargas leves, de 10 a 20 toneladas, são empregados guinchos em monovias, pontes suspensas ou pontes rolantes de viga I singela com guincho elétrico, manobradas do piso ou de plataformas.

Os guinchos em monovias são utilizados primordialmente na manutenção de equipamentos ou movimentação de peças de pequeno peso (**Figura 73**).

MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS

Os meios de movimentação de cargas representam percentual elevado do custo total dos galpões industriais, especialmente no caso de fábricas. A utilização de equipamento adequado ao tipo de carga prevista pode ser decisiva para a viabilização de alguns projetos industriais.

Tipo

A movimentação de cargas em um galpão pode ser feita por equipamentos apoiados na estrutura ou nos pisos. Neste capítulo serão analisados apenas os equipamentos que transmitem cargas à estrutura, como pontes rolantes, semipórticos, monovias, braços giratórios e talhas. Não serão consideradas correias transportadoras, mesmo quando ligadas à estrutura, por só ocorrerem em casos especiais.

Como equipamentos não ligados à estrutura e que podem trabalhar em combinação com pontes rolantes, são citados: empilhadeiras sobre rodas, veículos sobre trilhos, caminhões, mesas transportadoras. São equipamentos complementares, normalmente utilizados no transporte transversal de cargas.

Os equipamentos de movimentação de carga que transmitem esforços às estruturas podem ser classificados em fixos e móveis.

Equipamentos Fixos

Como equipamentos fixos, citam-se as talhas fixas e braços giratórios, que são geralmente utilizados para pequenas cargas localizadas, como as que ocorrem na manutenção de equipamentos de fabricação.

Equipamentos Móveis

Como equipamentos móveis citam-se pontes rolantes, semipórticos, pontes em consolo e guinchos em monovias.

Os principais equipamentos de movimentação de cargas em edifícios industriais são as pontes rolantes, que, além de serem adequadas a múltiplas situações, possuem a característica de deixar livre o piso do galpão.

Para cargas leves, de 10 a 20 toneladas, são empregados guinchos em monovias, pontes suspensas ou pontes rolantes de viga I singela com guincho elétrico, manobradas do piso ou de plataformas.

Os guinchos em monovias são utilizados primordialmente na manutenção de equipamentos ou movimentação de peças de pequeno peso (**Figura 73**).

Figura 73 – **MONOVIA COM GUINCHO**

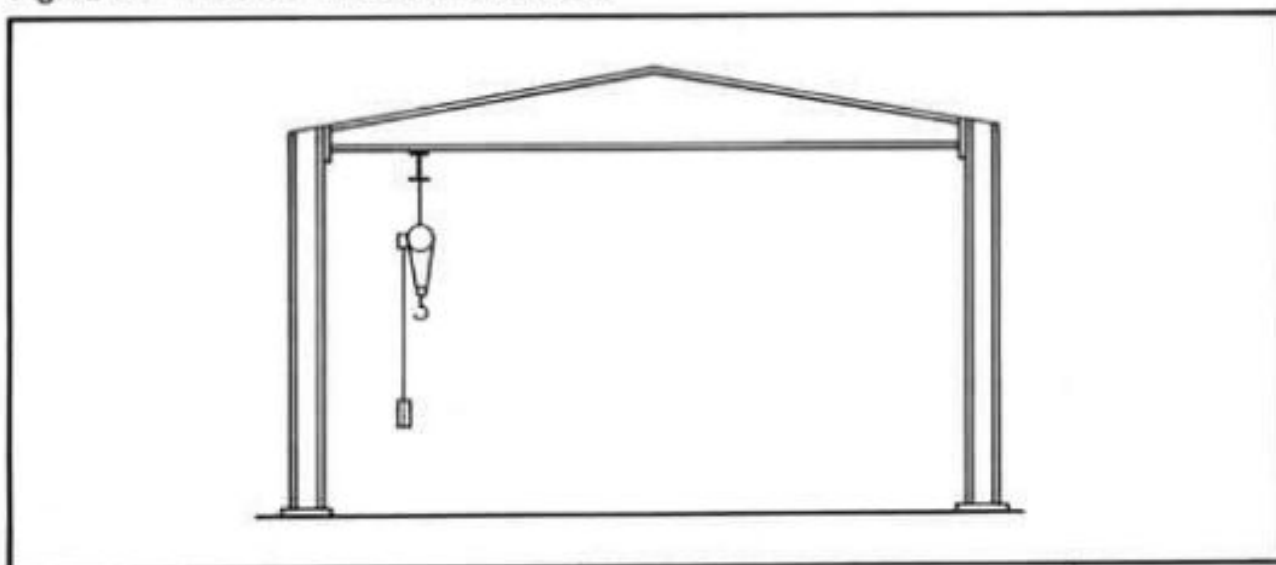



Figura 74 – **PONTES ROLANTES SUSPENSAS**

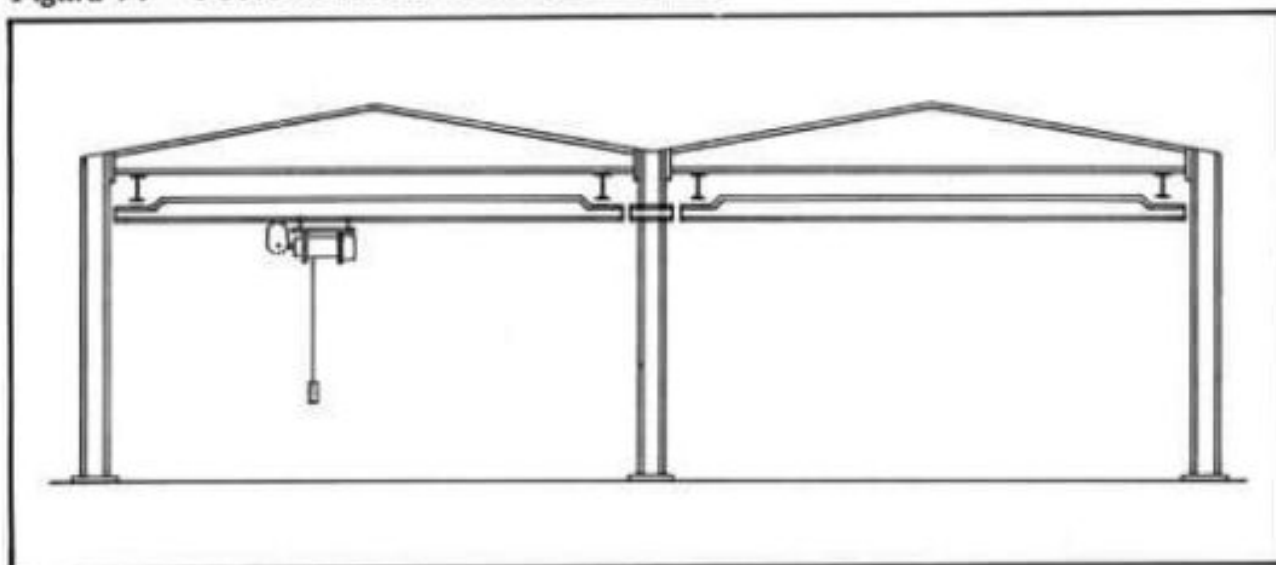



Figura 75 – **PONTE ROLANTE DE VIGA SINGELA**

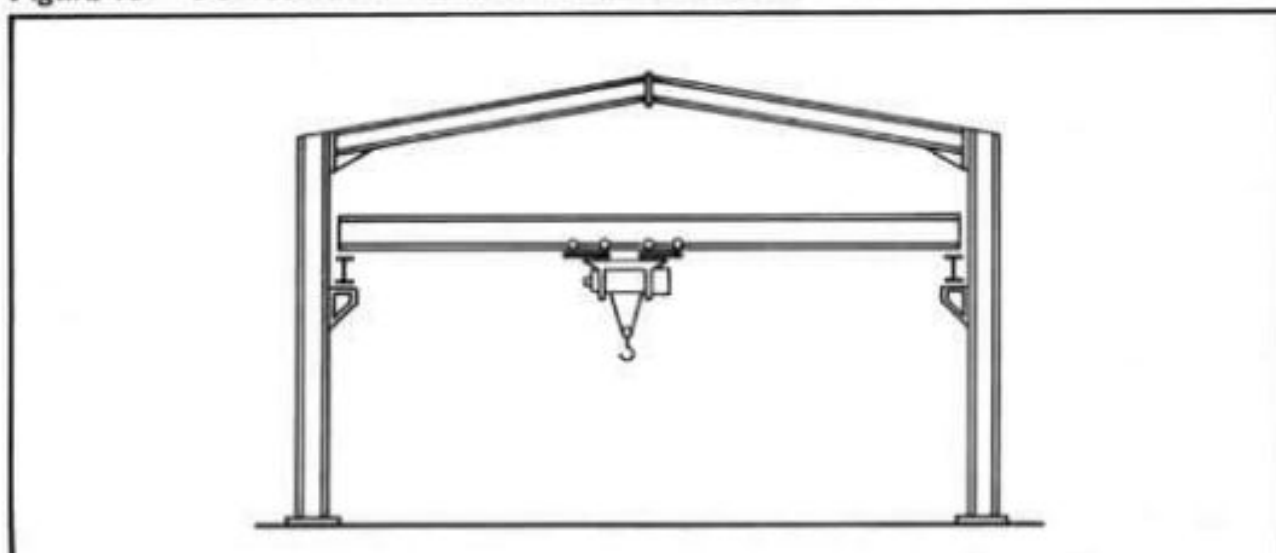



Figura 76 – **PONTE ROLANTE PARA GRANDES CARGAS**

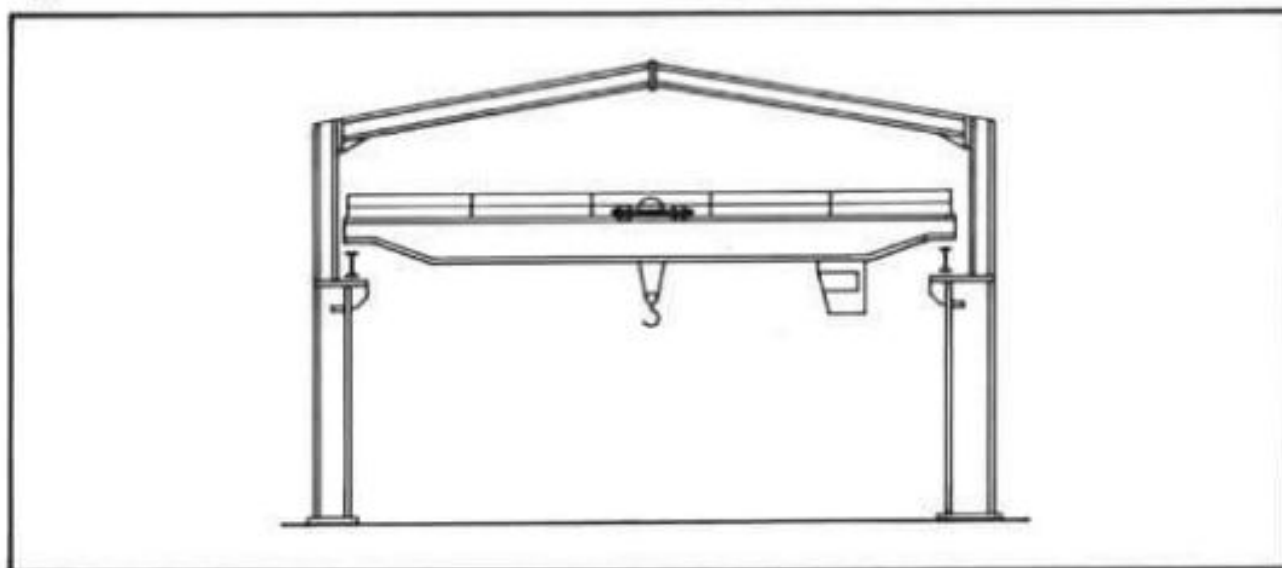



Figura 77 – **PONTES ROLANTES EM NÍVEIS DIFERENTES**

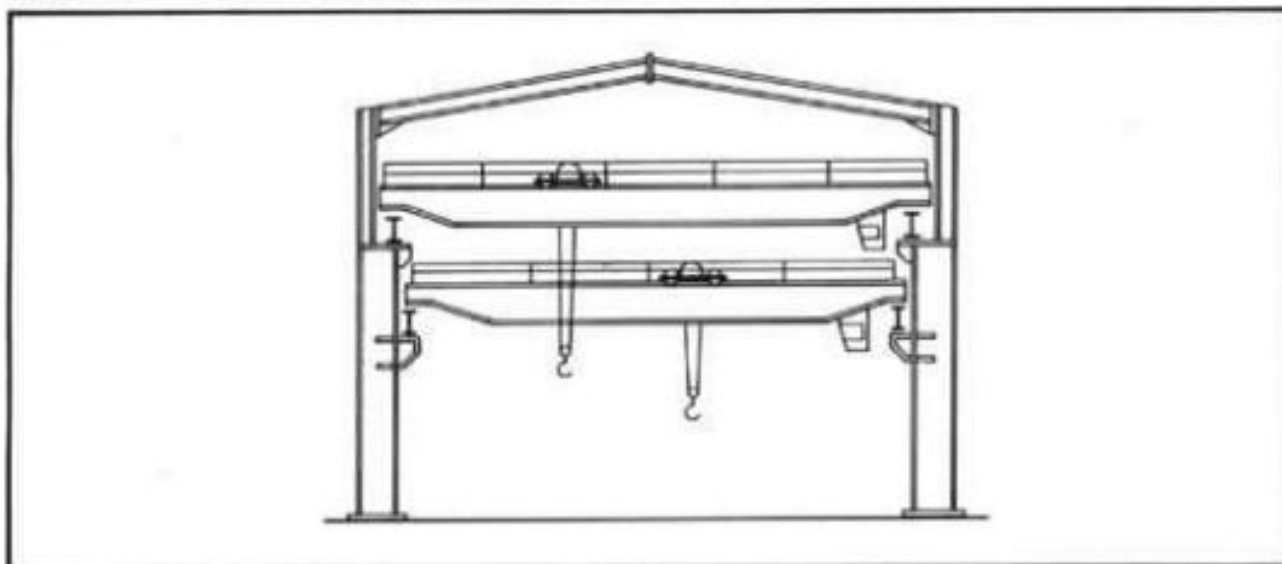



Figura 78 – **PONTE ROLANTE SOBRE PONTES EM CONSOLO**

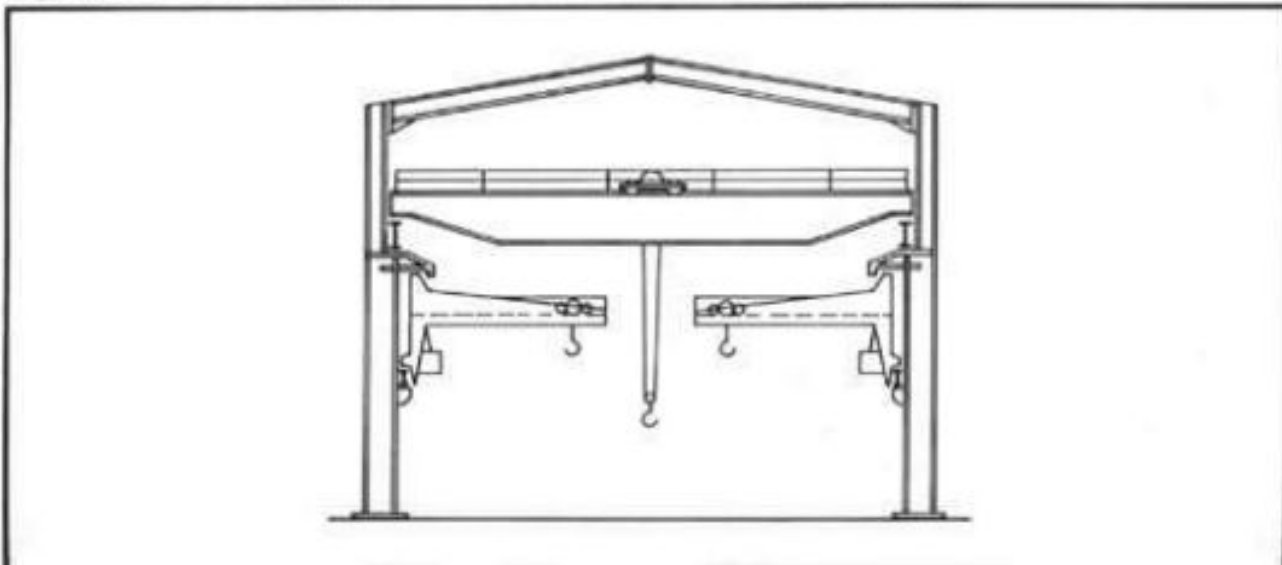



Figura 79 – **PONTE ROLANTE SOBRE SEMIPÓRTICO E BRAÇO GIRATÓRIO**

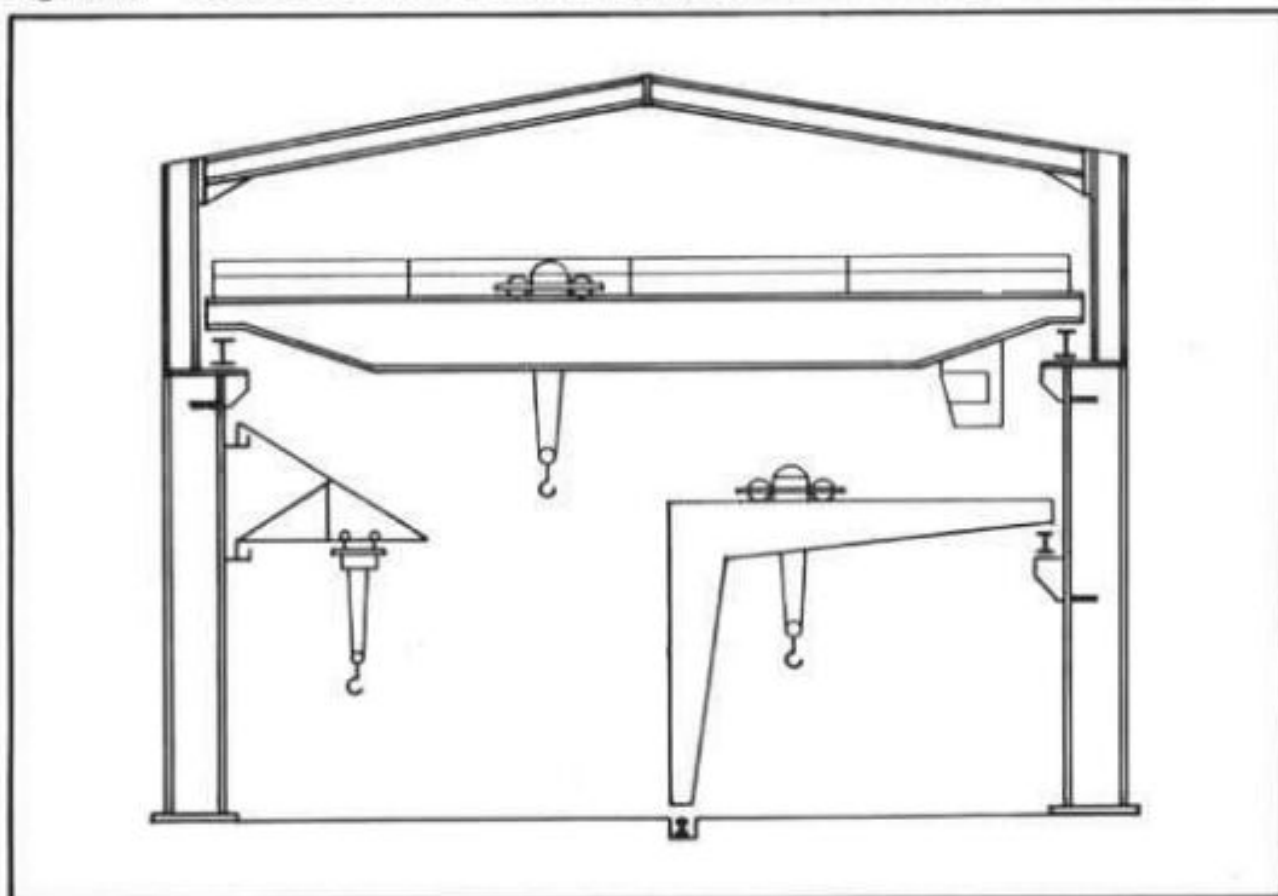
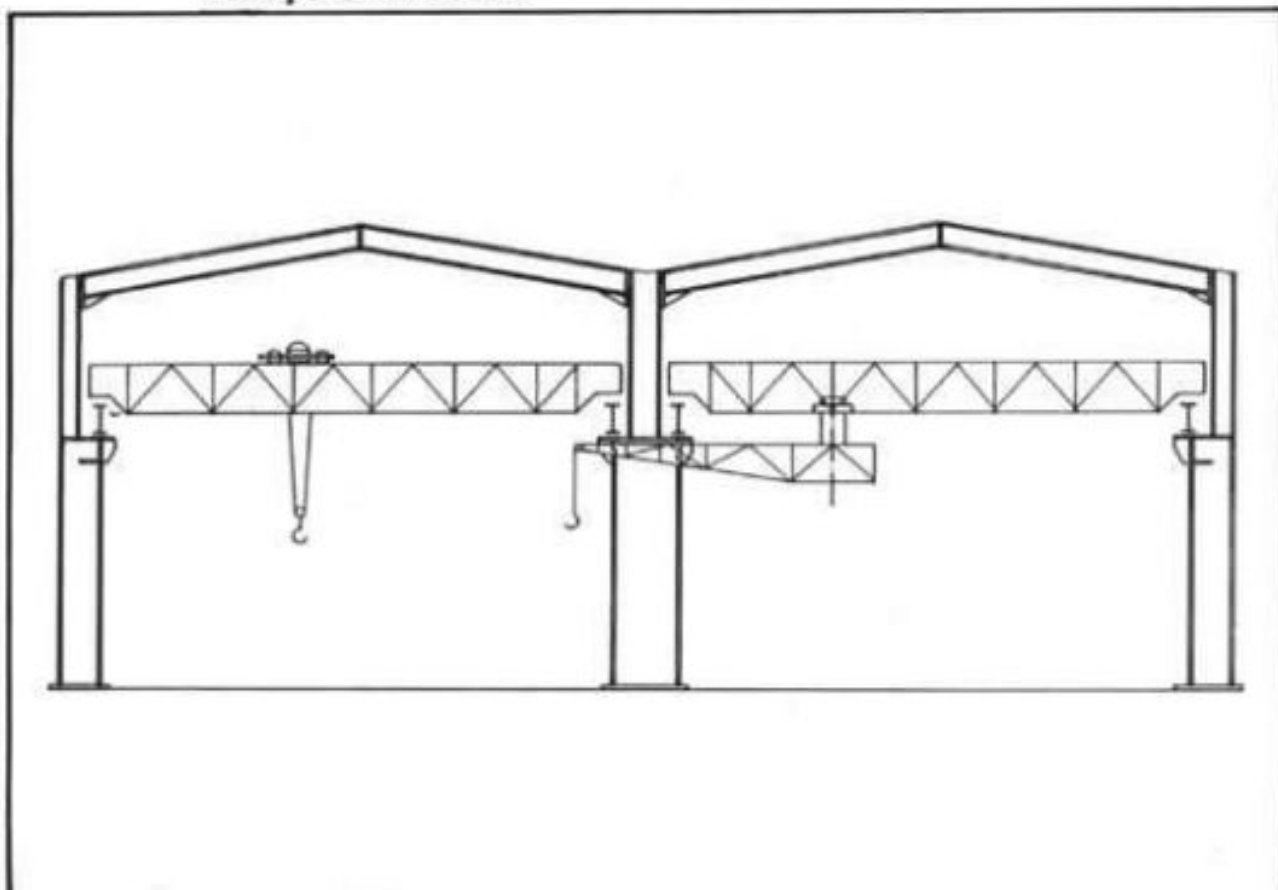



Figura 80 – **PONTES ROLANTES EM TRELIÇA. À DIREITA, CARRINHO COM BRAÇO GIRATÓRIO**

As pontes suspensas são interessantes na transferência de cargas de um ponto de um galpão de vãos múltiplos para qualquer outro ponto **(Figura 74)**. A passagem do guincho com a carga, de um vão para outro, é possível através de dispositivos localizados em certos pontos dos eixos longitudinais. Essas pontes são utilizadas para cargas máximas de 20 toneladas, em galpões de grande área, como é o caso dos armazéns portuários.

As pontes de viga singela, também utilizadas para pequenas cargas, possibilitam a redução da altura do galpão, por exigirem pequeno espaço entre o topo do trilho e a tesoura **(Figura 75)**.

Para cargas maiores, utilizam-se pontes rolantes apoiadas sobre trilhos e vigas de rolamento, manobradas. do piso, de plataformas ou de cabines ligadas à ponte **(Figura 76)**.

Nas pontes rolantes de grande capacidade, em que a carga máxima só ocorre esporadicamente, emprega-se um guincho auxiliar, com menor capacidade e maior velocidade de elevação de carga, conjugado ao guincho principal.

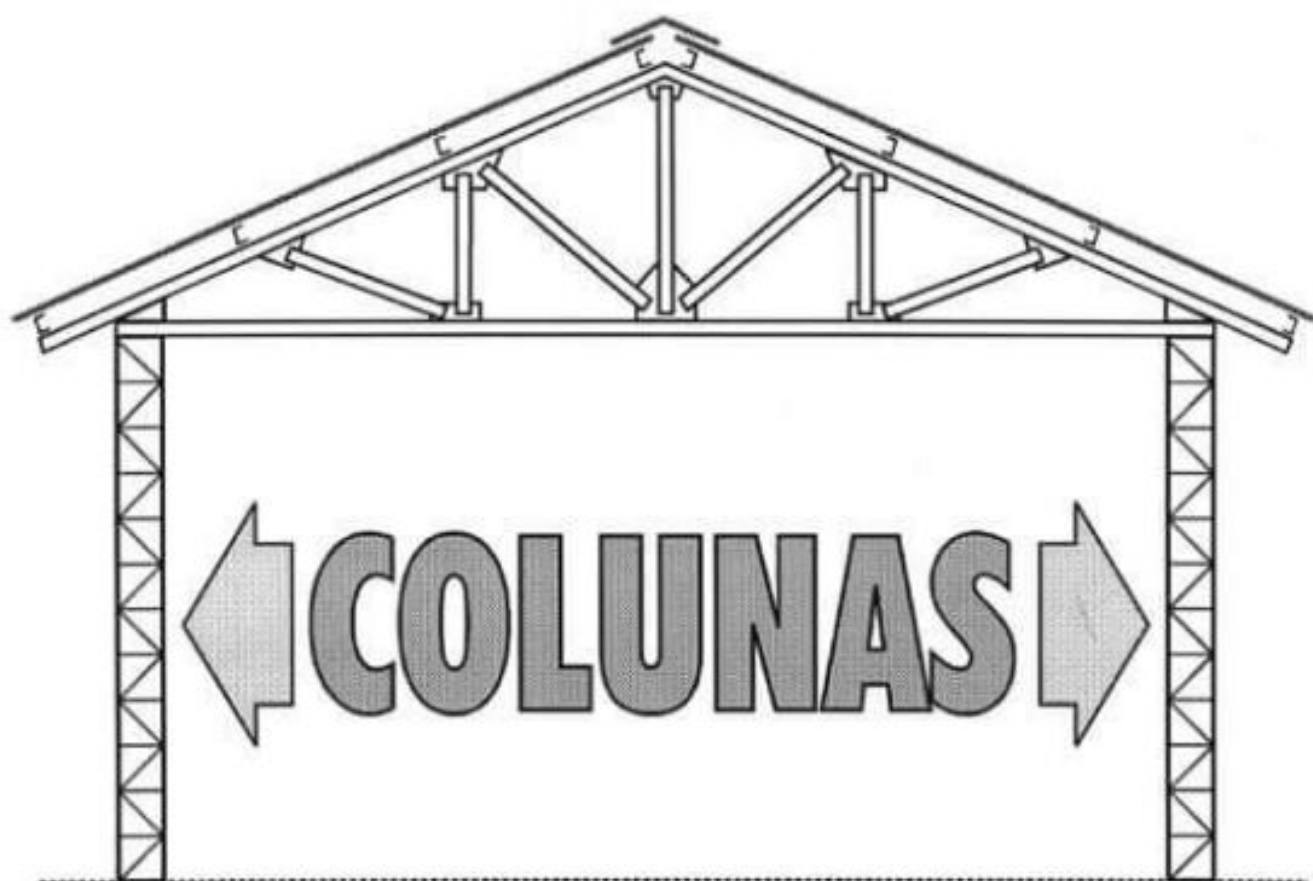
É comum o emprego de mais de uma ponte rolante, no mesmo nível, em galpões extensos e que exigem trabalhos simultâneos em pontos diversos.

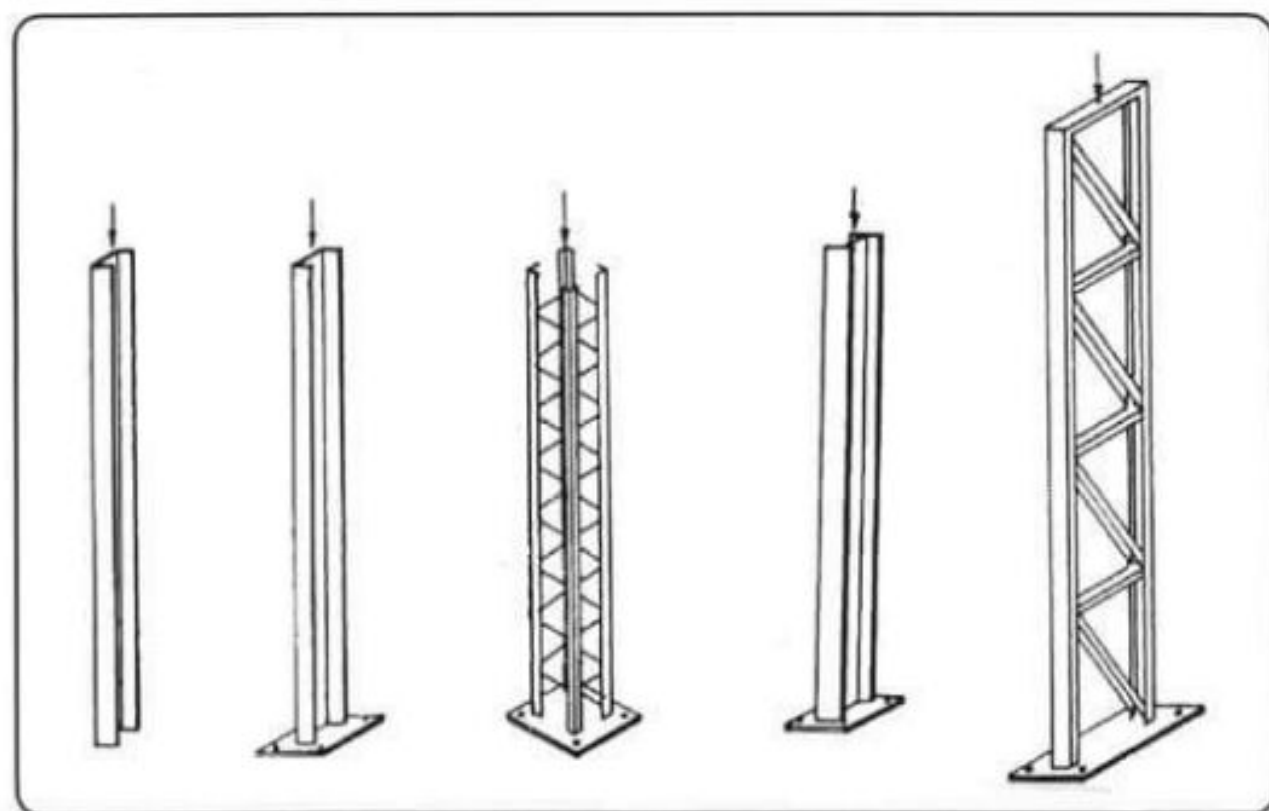
Essas pontes podem ter capacidades iguais ou diferentes e, nesse caso, as pontes de menor capacidade possuem maior velocidade de elevação de carga e de translação.

As exigências de funcionamento podem ainda tornar necessária a utilização de pontes rolantes em níveis diferentes, passando uma sobre a outra, permitindo trabalho independente em toda a extensão do galpão.

As pontes podem vencer todo o vão **(Figura 77)**, ou serem as do nível inferior, pontes em consolo **(Figura 78)**, ou semipórticos **(Figura 79)**.

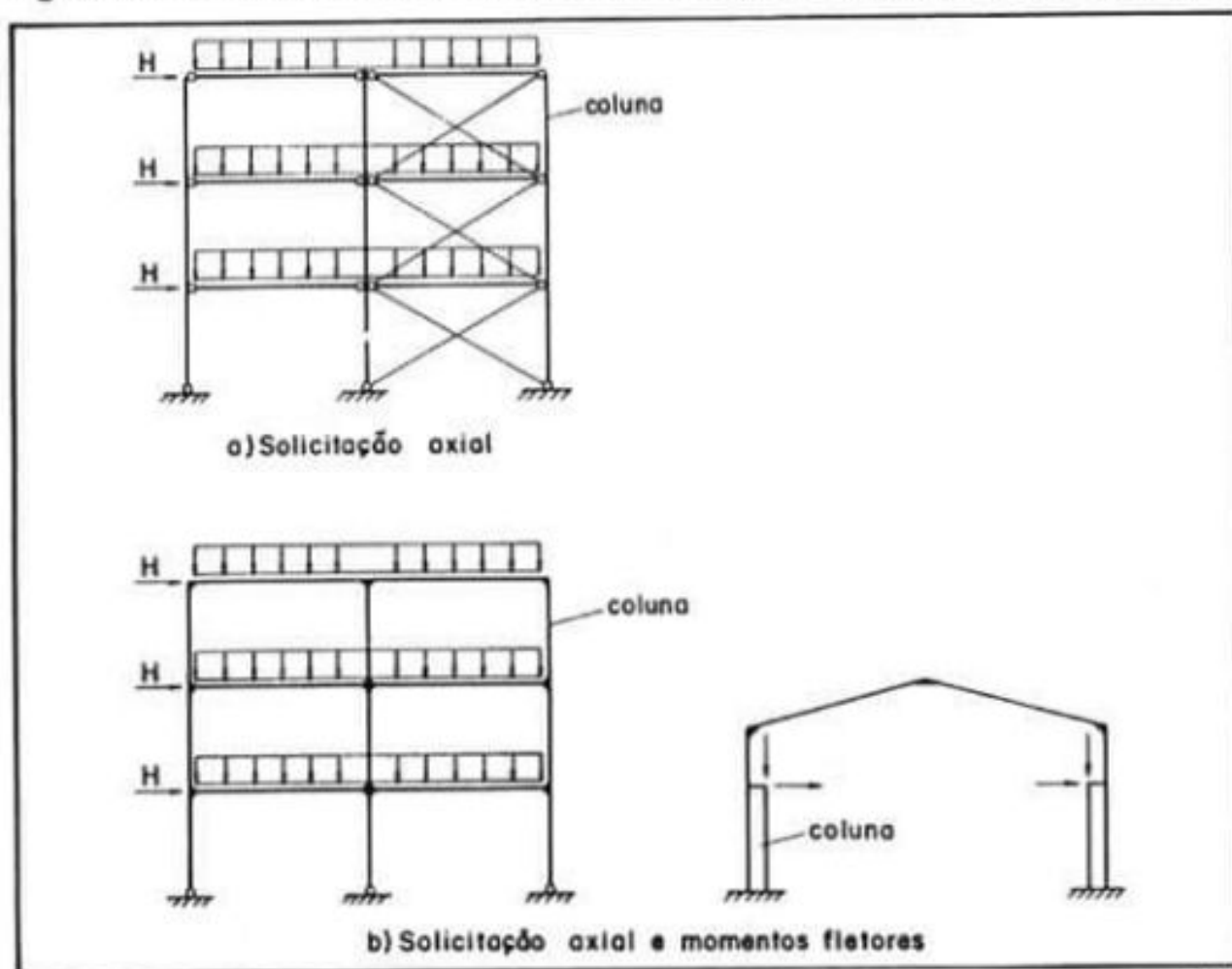
A característica dos serviços executados pode exigir transporte transversal de cargas, para permitir sua passagem de um vão para outro **(Figura 80)**. As pontes em consolo, com braço giratório, têm a mesma função, porém para cargas menores.

Convém salientar que pontes não convencionais podem ter seu preço substancialmente onerado, como é o caso da ponte com carrinho giratório da **figura 80**.

COLUNAS

COLUNAS são elementos estruturais que transmitem para as fundações as cargas das edificações.

COLUNAS

Generalidades

Colunas são elementos estruturais na posição vertical ou levemente inclinada, solicitados somente por forças axiais de compressão ou também por momentos fletores ou de torção.

Figura 42–COLUNAS COM CARGAS AXIAIS COM E SEM MOMENTOS FLETORES

Colunas solicitadas somente por compressão ocorrem em hastes pendulares ou birrotuladas, nas quais não atuam forças transversais. Nos edifícios e galpões, além das cargas verticais, as colunas são solicitadas por momentos fletores, decorrentes de cargas horizontais ou do engastamento nas vigas transversais.

A **figura 42a)** mostra colunas de um edifício, solicitadas apenas por cargas axiais, onde as cargas horizontais são transmitidas às fundações por contraventamentos, sem provocar momentos nas colunas. Na **figura 42b)** são ilustradas colunas de um edifício e de um galpão solicitadas por cargas axiais e momentos fletores.

Seções usuais

Na escolha do perfil, pesa primeiramente o fator econômico. Devido à relação custo do material/custo da fabricação e a problemas de limpeza, pintura, conservação e aspecto arquitetônico, procura-se empregar seções menores e de paredes mais espessas, mesmo que não correspondam à solução mais leve. Esse aspecto é ainda mais importante em colunas de edifícios de andares múltiplos, quando nelas existe a necessidade de proteção contra fogo.

Quanto ao tipo de seção transversal, os perfis de colunas podem ser:

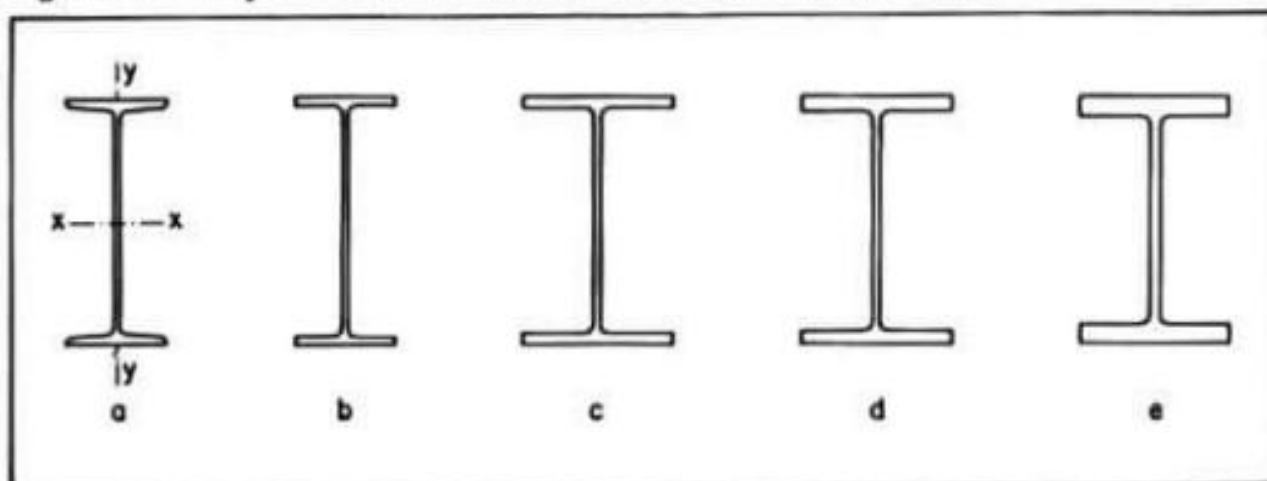
- Perfis de seção simples laminados ou soldados.
- Composição de perfis ou reforços de perfis com chapas.
- Perfis de seção múltipla.

Colunas de perfil simples laminado ou soldado

Os perfis laminados I e IP são adequados apenas para pequenas cargas axiais, devido ao perigo de flambagem segundo o eixo Y-Y ou quando existirem momentos fletores.

Para cargas axiais maiores, são mais econômicos os perfis H, principalmente até a altura de 360mm, onde a diferença entre altura e largura, quando existe, é pequena. Para cargas ainda maiores, podem ser reforçados com chapas ou usados perfis soldados, dimensionados para as condições específicas da coluna em estudo.

A **figura 43** mostra seções transversais de colunas compostas de um único perfil. Os perfis **a e b** desta figura não são adequados, a não ser que haja grande diferença entre os comprimentos de flambagem nos sentidos X e Y.

Figura 43 – **SEÇÕES TRANSVERSAIS COM PERFIL LAMINADO**

Seções transversais com perfis compostos e perfis reforçados

As combinações geralmente realizadas com perfis laminados podem ser em seção aberta, como ilustrado na **figura 44**, ou de seção fechada ou caixão, como na **figura 45**. Os perfis de seção em caixão facilitam a limpeza e pintura (que ficam restritas à superfície externa), têm grande resistência à torção e bom aspecto estético; apresentam, porém, a desvantagem de ligações com vigas de execução trabalhosa, o que limita seu emprego.

Figura 44 – **COMBINAÇÃO DE PERFIS EM SEÇÃO ABERTA**

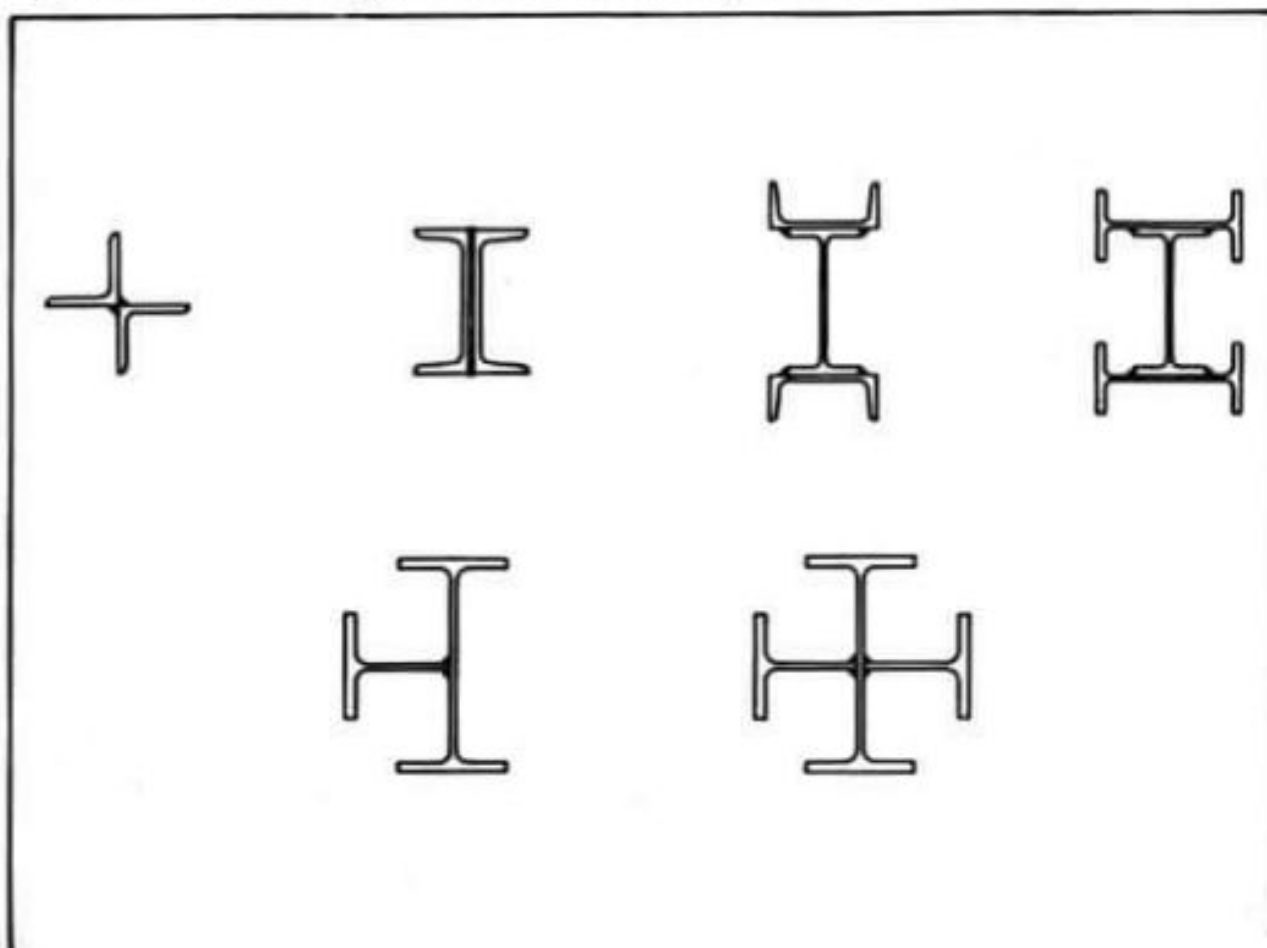



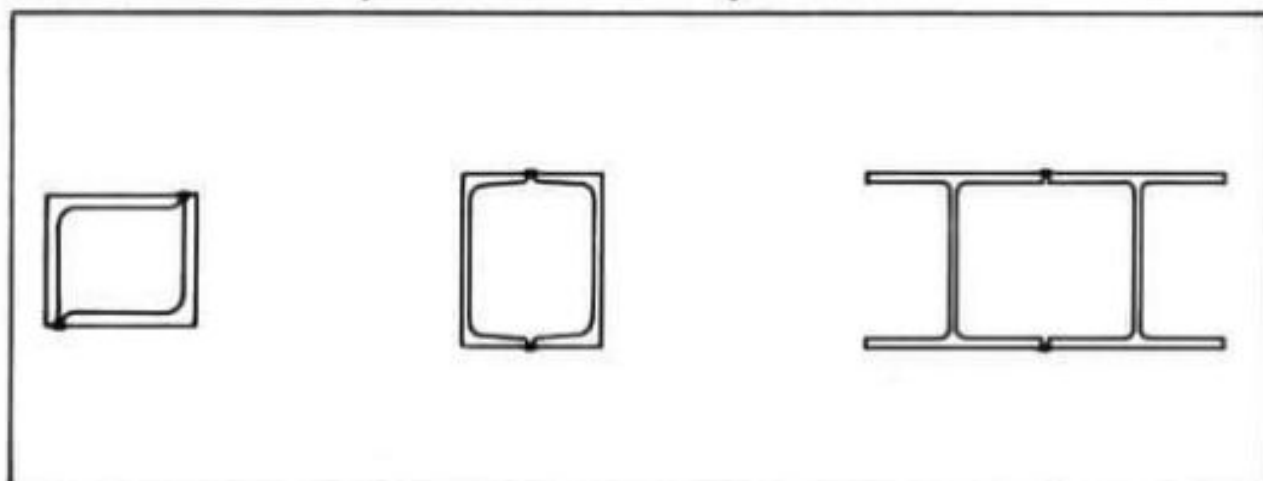
Figura 45 – **COMBINAÇÃO DE PERFIS EM SEÇÃO FECHADA**

Uma solução muito utilizada na prática é a combinação de perfis laminados e chapas, quando as cargas axiais e comprimentos de flambagem são grandes, ou quando, além dessa solicitação, ocorrem grandes momentos fletores (**Figura 46**).

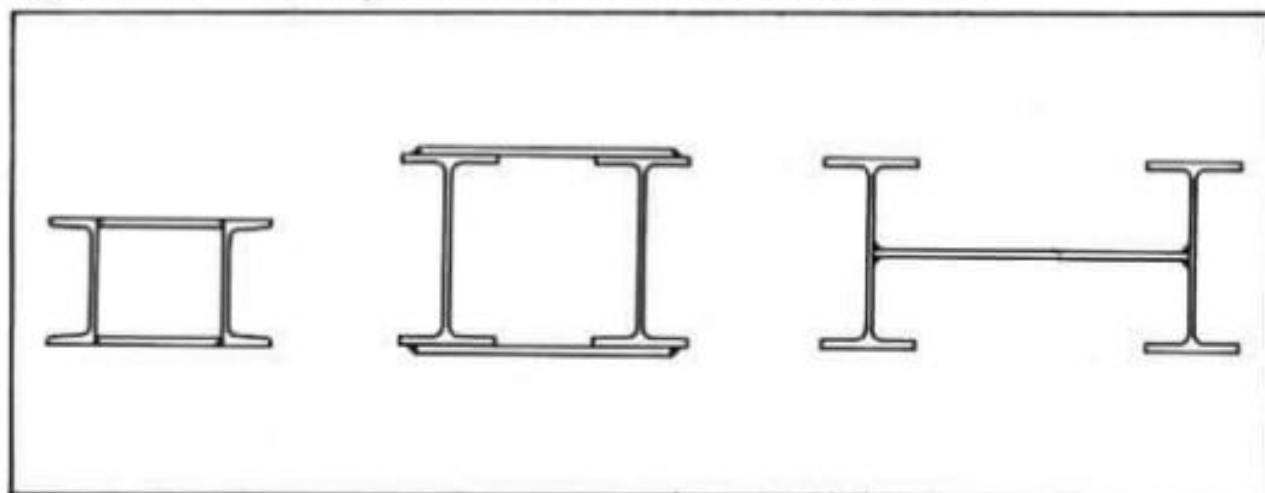
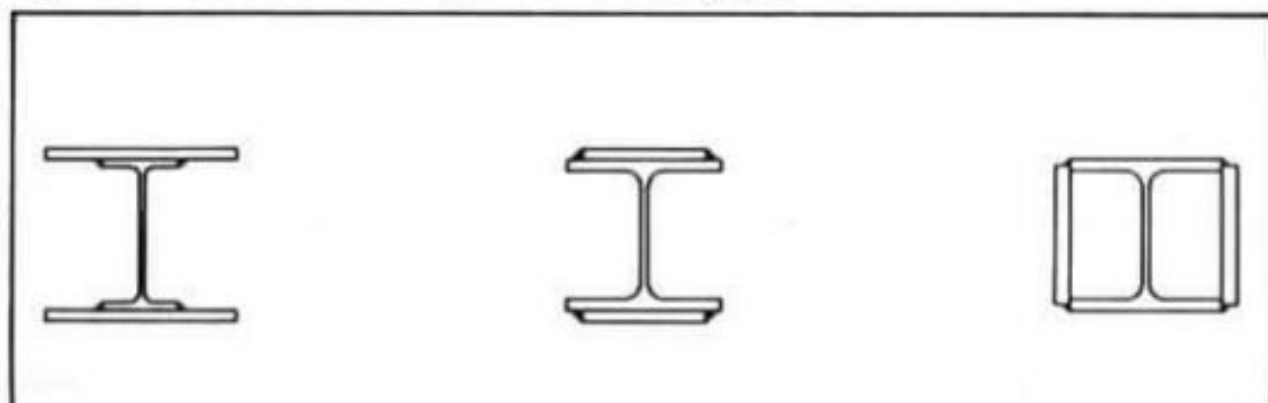
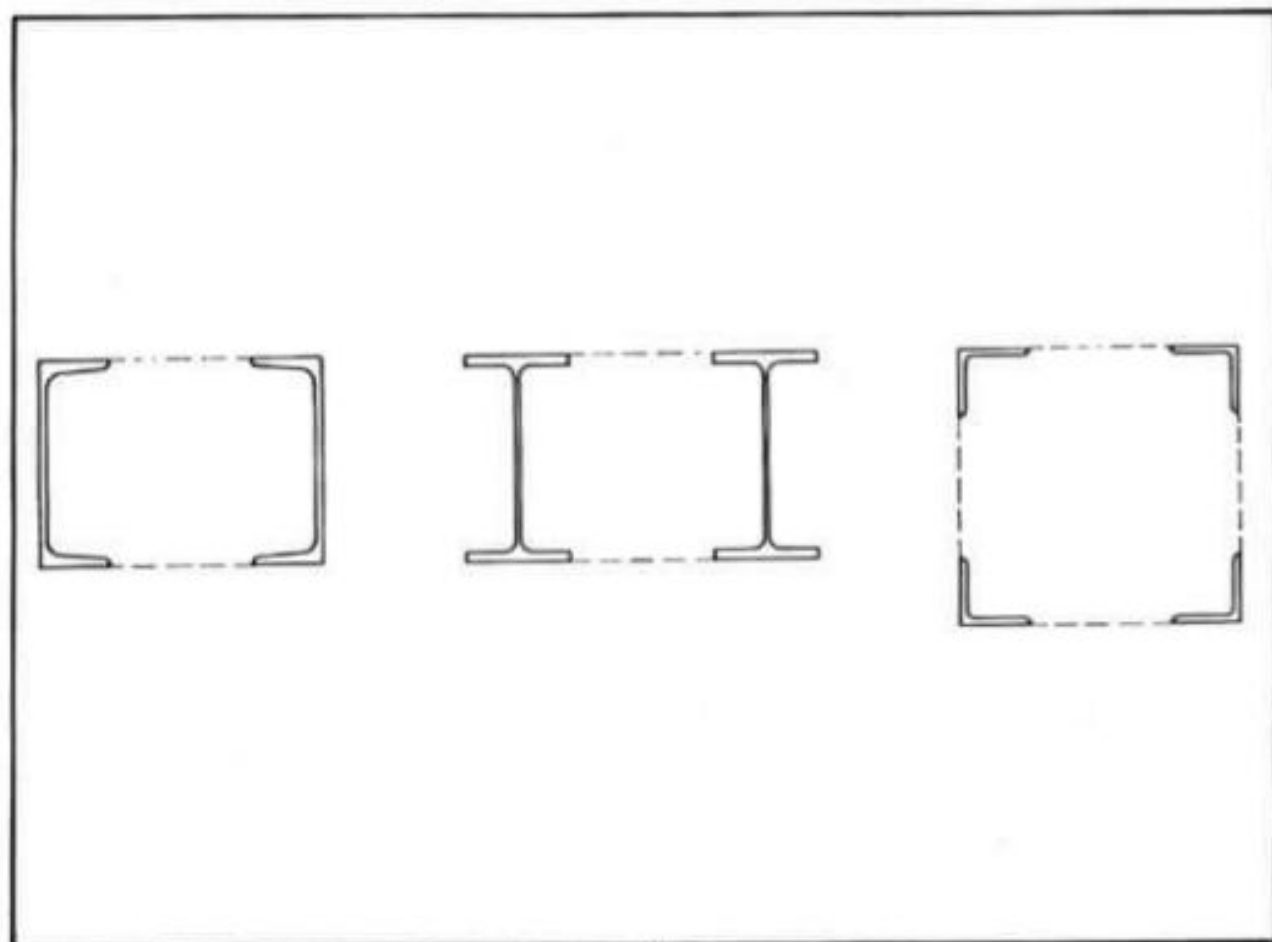
Figura 46 – **COMBINAÇÃO DE PERFIS LAMINADOS E CHAPAS**

Quando, devido ao tipo da solicitação ou por restrições ao espaço disponível, não se consegue a utilização econômica dos perfis laminados, empregam-se perfis reforçados com chapas (**Figura 47**).

Figura 47 – **PERFIS REFORÇADOS COM CHAPAS**

Nas colunas de edifícios de andares múltiplos, onde há variação da carga axial em cada piso, é interessante manter o mesmo perfil vencendo dois a três pavimentos, o que se consegue economicamente, reforçando o perfil com chapas a cada aumento da carga atuante.

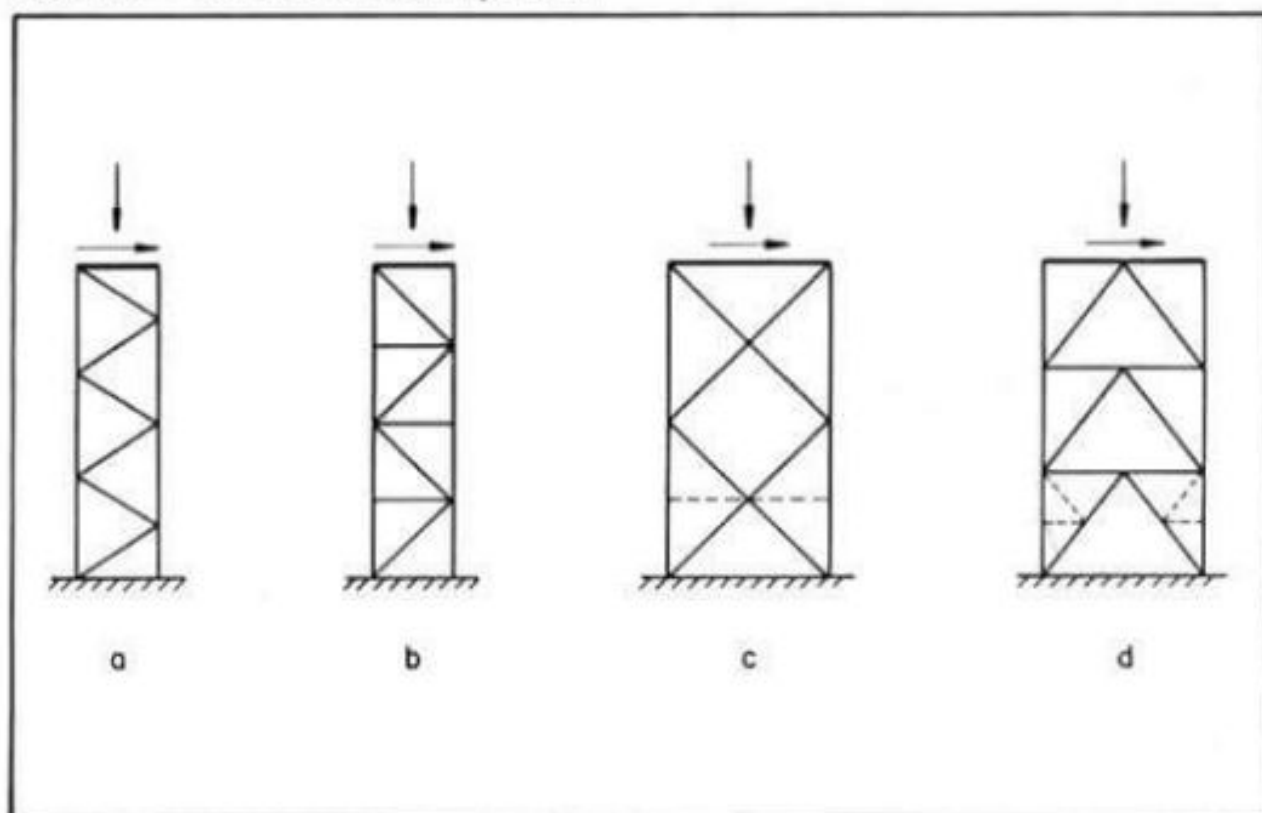
Colunas de seção múltipla

As colunas de seção múltipla são caracterizadas pela grande resistência a cargas excêntricas, e são para tais cargas, mais leves que as colunas de perfil simples. São empregadas quando há grandes comprimentos de flambagem, como em colunas de apoio de galerias de transportadores ou em galpões com grandes cargas horizontais, como ocorre em construções com pontes rolantes.

A **figura 48** mostra três exemplos de perfis de seção múltipla.

Figura 48 – **PERFIS DE SEÇÃO MÚLTIPLA**

Quando somente ocorrem solicitações axiais, é empregado o travejamento entre os perfis componentes da seção. Nas colunas com cargas horizontais, a ligação entre os perfis é feita por treliçamento e geralmente soldada, sendo desaconselhável o uso de parafusos de tolerância grossa, devido à folga entre o furo e o parafuso.

O treliçamento mais simples é feito de diagonais, geralmente iguais (**Figura**

Figura 49 — **COLUNAS TRELIÇADAS**

Quando a distância entre os nós é grande, podem se tornar necessárias peças horizontais para reduzir o comprimento de flambagem dos montantes no plano da coluna, obtendo-se assim um dimensionamento mais econômico (**Figura 49b**).

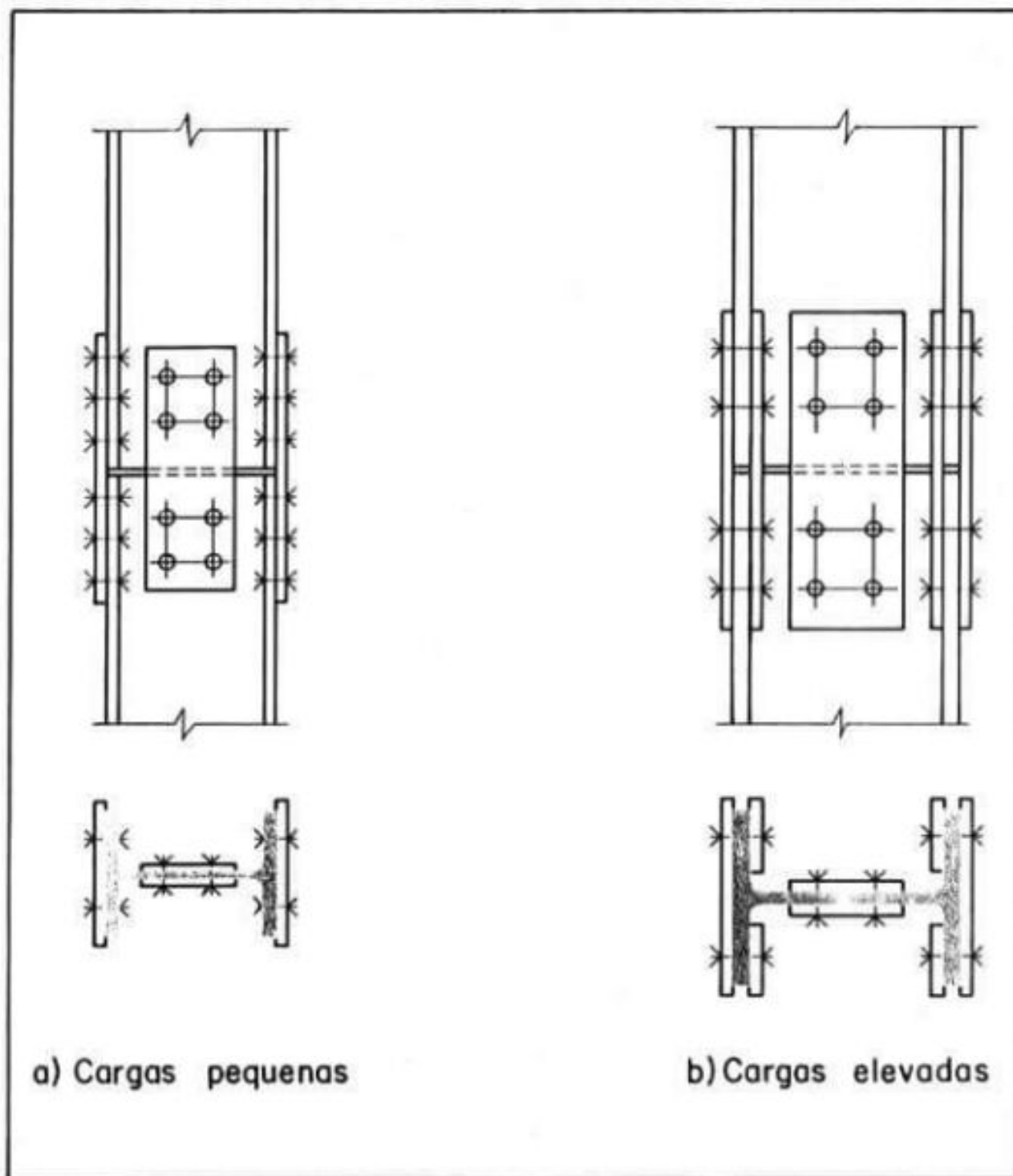
Nas colunas mais largas, as treliças romboidais e em K são normalmente mais econômicas, podendo também nesses casos ser necessário o acréscimo de horizontais ou treliçamento secundário, como indicado na **figura 49c** e d.

Emendas de colunas

Emendas de colunas podem ser necessárias, em decorrência de limitações ou custo do transporte, dificuldade de manuseio, ou capacidade dos equipamentos de elevação na fabricação e montagem, bem como no caso de galpões muito altos e nos edifícios de andares múltiplos, onde o aumento da altura e a redução das cargas conduzem à variação do perfil das colunas.

Nos galpões com pontes rolantes, essa emenda é normalmente executada na altura do apoio da viga de rolamento e, nos edifícios elevados, logo acima dos pisos. As emendas mais empregadas na montagem são feitas com parafusos ajustados ou com parafusos protendidos, de alta resistência.

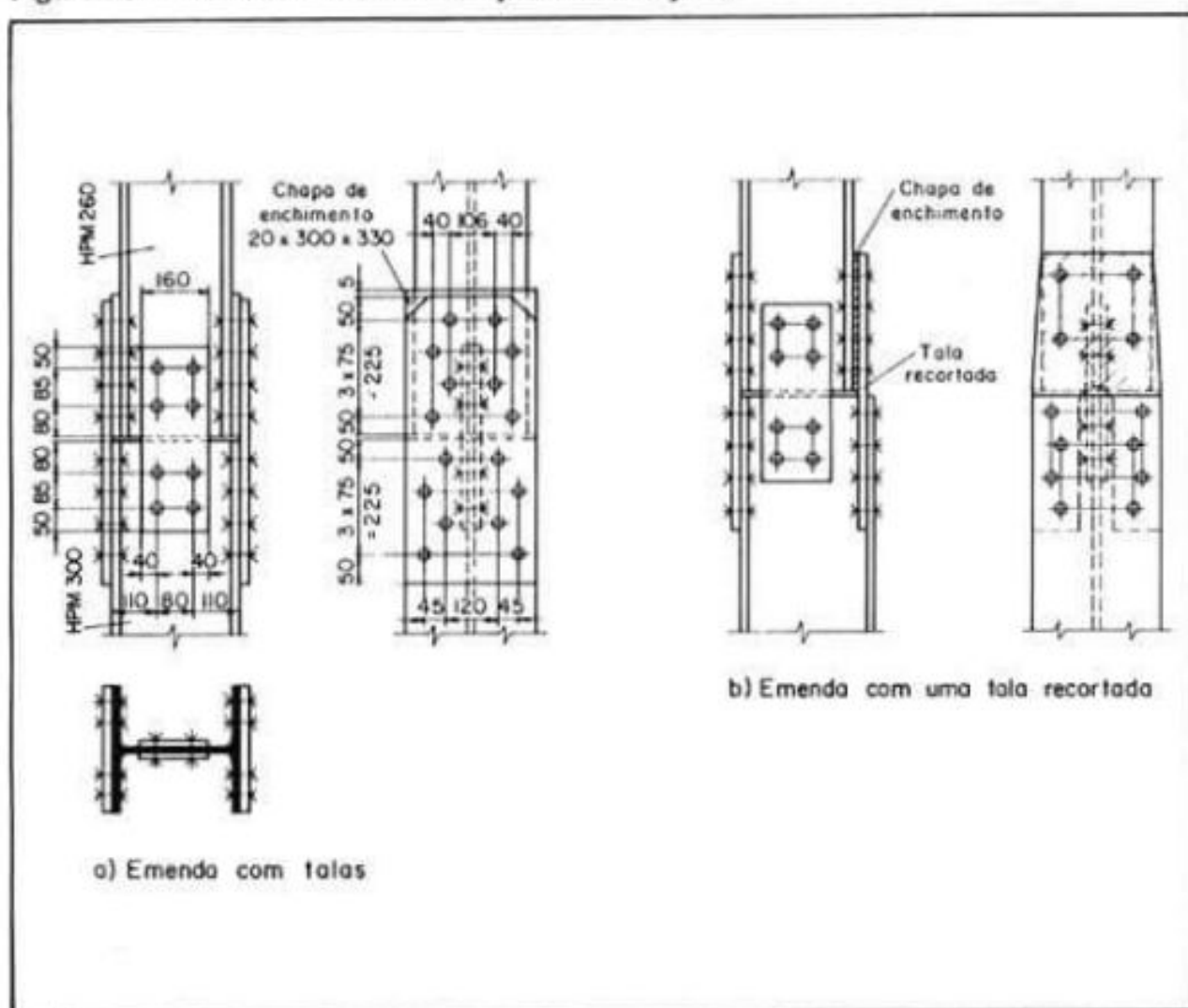
Nos últimos anos, devido à maior simplicidade do projeto e facilidade de fabricação das peças, vêm tendo emprego mais amplo as ligações de campo soldadas. Desde que se tomem os devidos cuidados, conseguem-se ligações soldadas no campo

Figura 50 – **EMENDAS COM TALAS**

Também são usuais as ligações aparafusadas, que podem ser executadas com talas ou com placas de topo. Nas ligações com talas, estas e os parafusos são dimensionados para a carga total acima da emenda. As talas devem ter, pelo menos, as mesmas dimensões e momento resistente do perfil emendado. Normalmente, usam-se talas superdimensionadas. Para cargas pequenas, as talas dos flanges são utilizadas somente em um dos lados do perfil e as da alma sempre dos dois lados (**Figura 50a**).

A solução com talas dos dois lados é aconselhável para cargas maiores, em função do cisalhamento duplo nos parafusos, que reduz seu número à metade, com a conseqüente redução nas dimensões das talas (**Figura 50b**).

Figura 51 – **EMENDA NA VARIAÇÃO DA SEÇÃO**

a) Emenda com talas

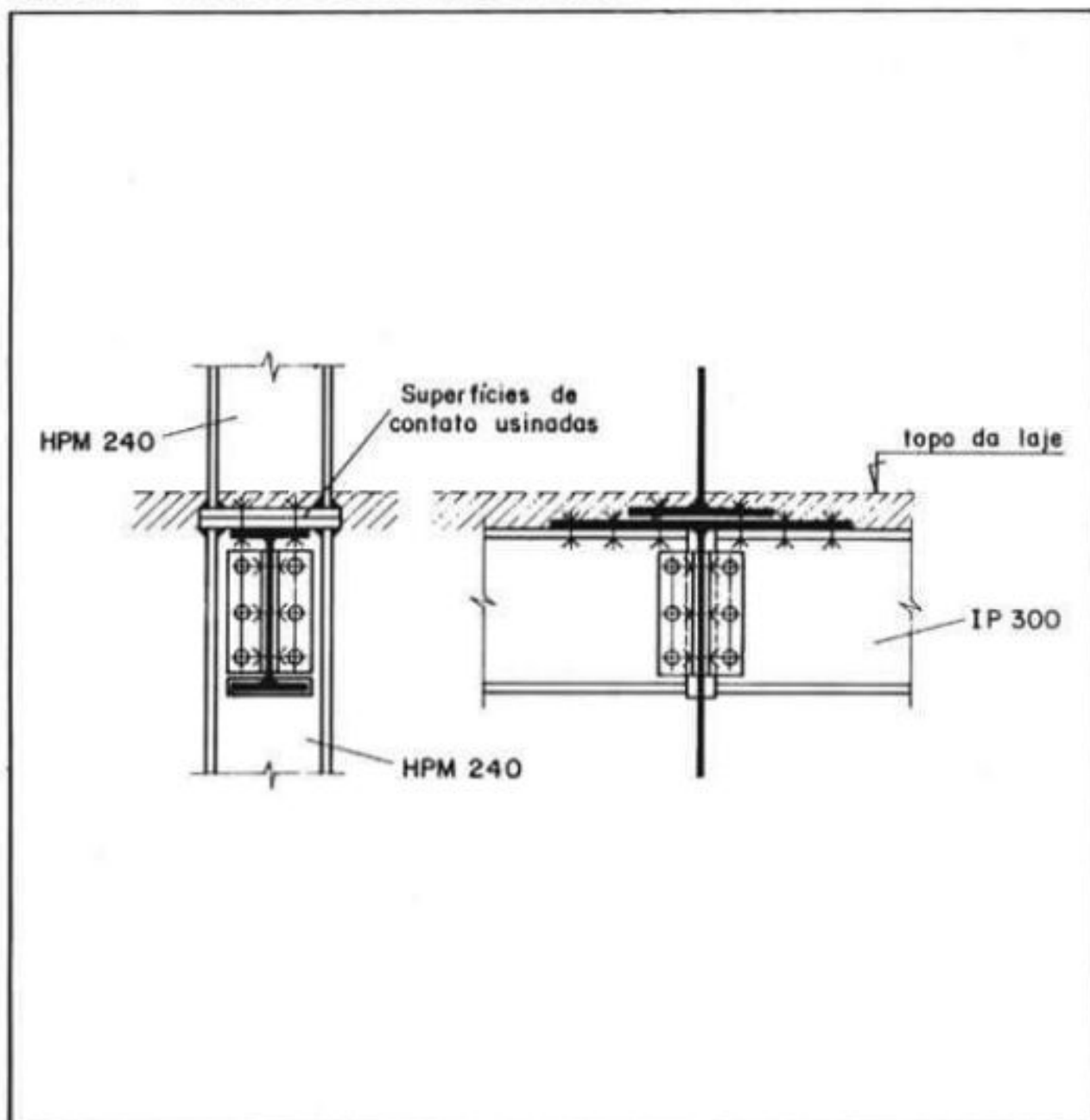
b) Emenda com uma tala recortada

No caso de variação da seção do perfil, diferenças de espessura superiores a 1mm, tanto no flange como na alma, devem ser compensadas com chapas de enchimento **(Figura 51)**.

As colunas contínuas, sujeitas somente a cargas axiais, podem ter as emendas dimensionadas para metade da carga, desde que as juntas estejam nos quartos externos de seu comprimento de flambagem, as superfícies de apoio perpendiculares ao eixo da coluna e forem usinadas ou serradas, de modo a permitir um contato perfeito.

No caso de variação da seção do perfil, as chapas de enchimento devem ser ligadas ao perfil por solda, porque os outros tipos de ligação podem ceder; neste caso, a chapa será soldada ao perfil de menor altura.

A principal vantagem das ligações com contato está na economia de material das talas, chapas de enchimento e redução à metade dos parafusos necessários, com correspondente redução do número de furos a serem executados. Em contrapartida, há que se considerar os custos adicionais derivados do maior cuidado na execução e usinagem das áreas de contato.

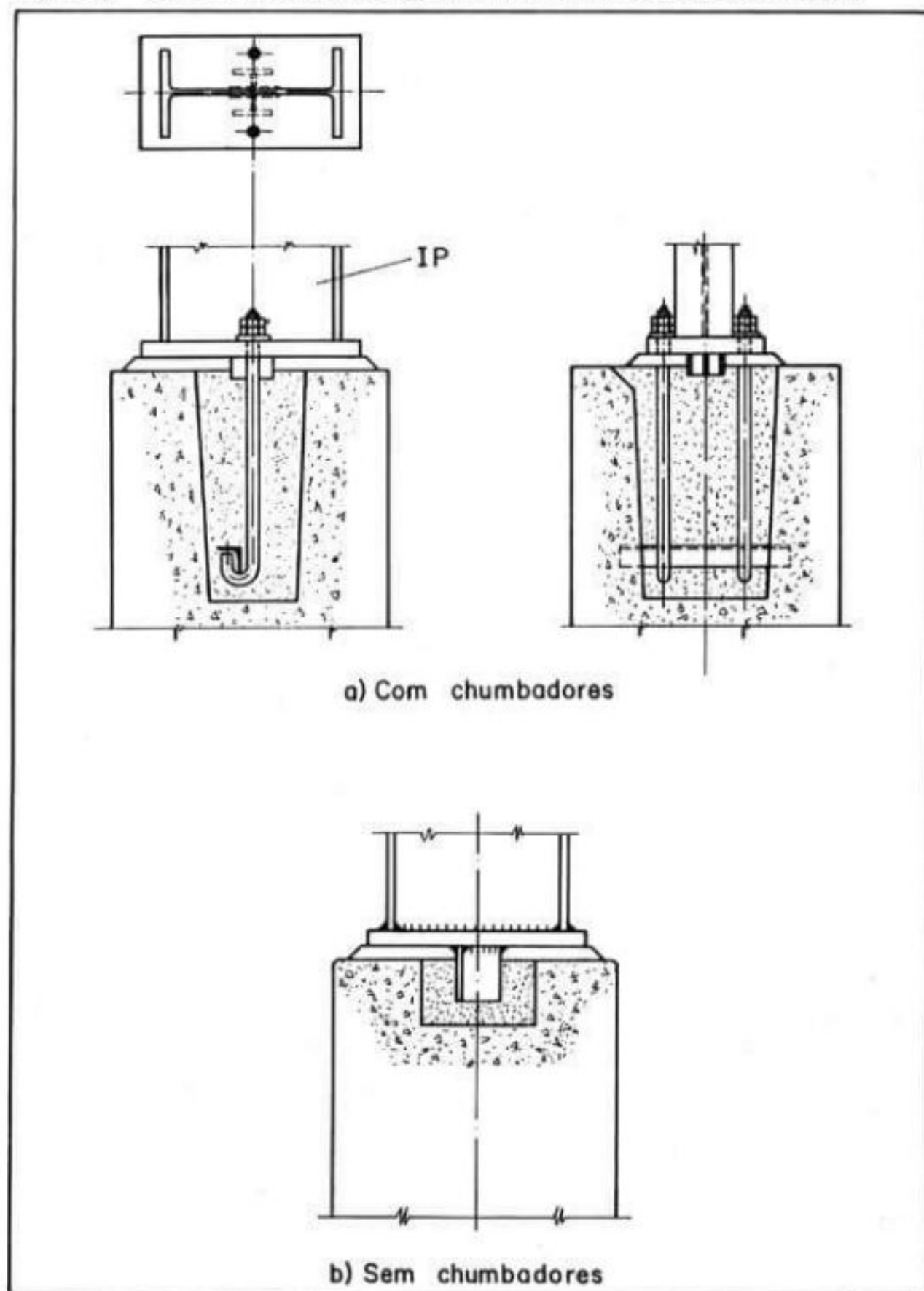
A figura 52 mostra um exemplo de ligação de talas com contato.

Figura 54 – **EMENDA DE COLUNA COM CHAPA DE TOPO EMBUTIDA NA LAJE**

Bases de colunas

Generalidades

A base da coluna transmite os esforços de compressão e eventuais momentos e cargas horizontais à fundação. As colunas são ligadas às fundações por meio de bases rotuladas ou engastadas, de acordo com a função estática que devem desempenhar.

Nos edifícios elevados ou de andares múltiplos, empregam-se normalmente colunas rotuladas na base. Para terrenos de má qualidade é desaconselhável o uso de colunas engastadas na base. A coluna rotulada é geralmente um pouco mais pesada que a engastada; a economia na execução da base e na fundação é, entretanto, elevada.

Figura 55 – **COLUNA ROTULADA COM PLACA DE BASE SEM NERVURAS**

Nos galpões com pontes rolantes, a solução mais empregada é a de colunas engastadas na base, devido às cargas horizontais elevadas e à limitação substancial de peso e deformações que podem afetar o funcionamento das pontes rolantes.

Sendo a tensão admissível de compressão do aço muito maior que a do concreto, a coluna rotulada necessita de uma base para distribuir as tensões no topo da fundação.

A base rotulada mais simples é a coluna com uma chapa de topo espessa (**Figura 55a**).

Figura 56 — **BASE DE COLUNA ROTULADA APOIADA EM GRELHA**

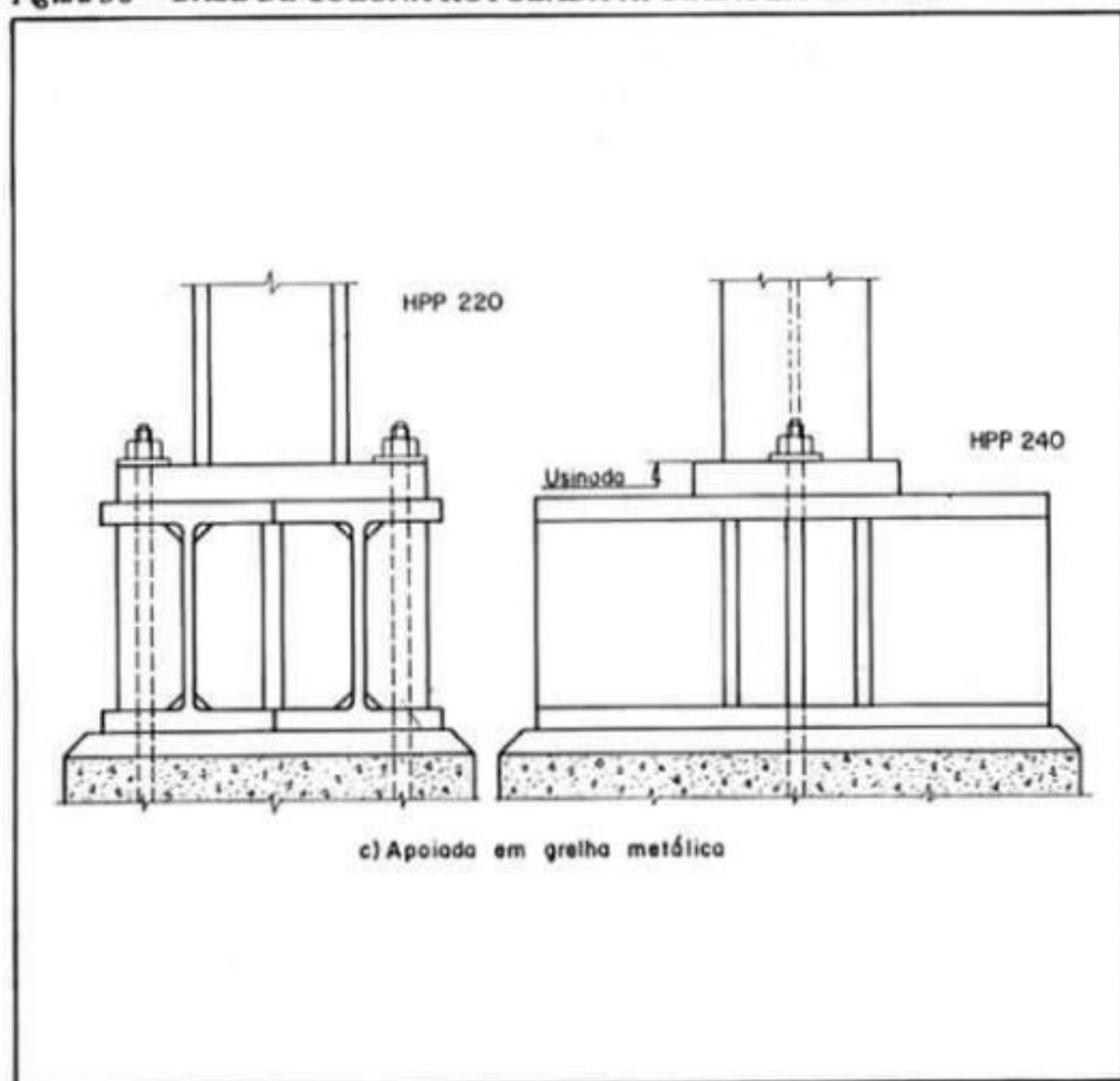
c) Apoiado em grelha metálica

Não havendo possibilidade de ocorrer tração na fundação, pode-se empregar a solução mostrada na **figura 55b**. A primeira solução apresenta, ainda, vantagens para a montagem da coluna. Para cargas elevadas, o dimensionamento da placa de base pode levar a espessuras muito grandes. Nesses casos, emprega-se uma grelha metálica para apoio da coluna e distribuição das cargas ou, o que é mais comum e econômico, utiliza-se a placa de base com nervuras (**Figuras 56 e 57**).

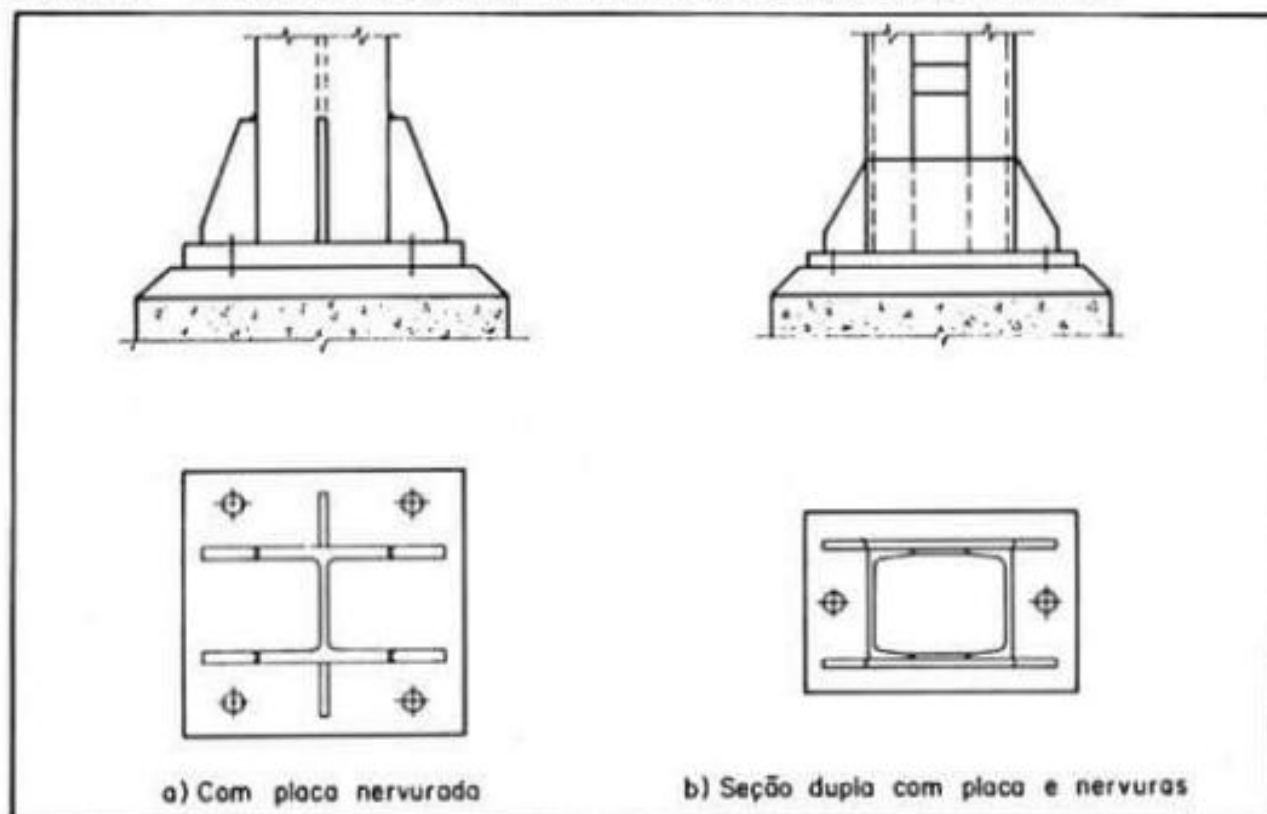
Figura 57 – **BASES DE COLUNAS COM PLACA DE BASE NERVURADA**

As soluções para bases de coluna apresentadas nas figuras 55, 56 e 57 não são rótulas perfeitas. Para cargas elevadas e quando a base da coluna está sujeita a rotação que afete o dimensionamento da fundação ou introduza momentos indesejáveis na base, são necessárias soluções mais sofisticadas, que aproximem o projeto da base a uma rótula perfeita.

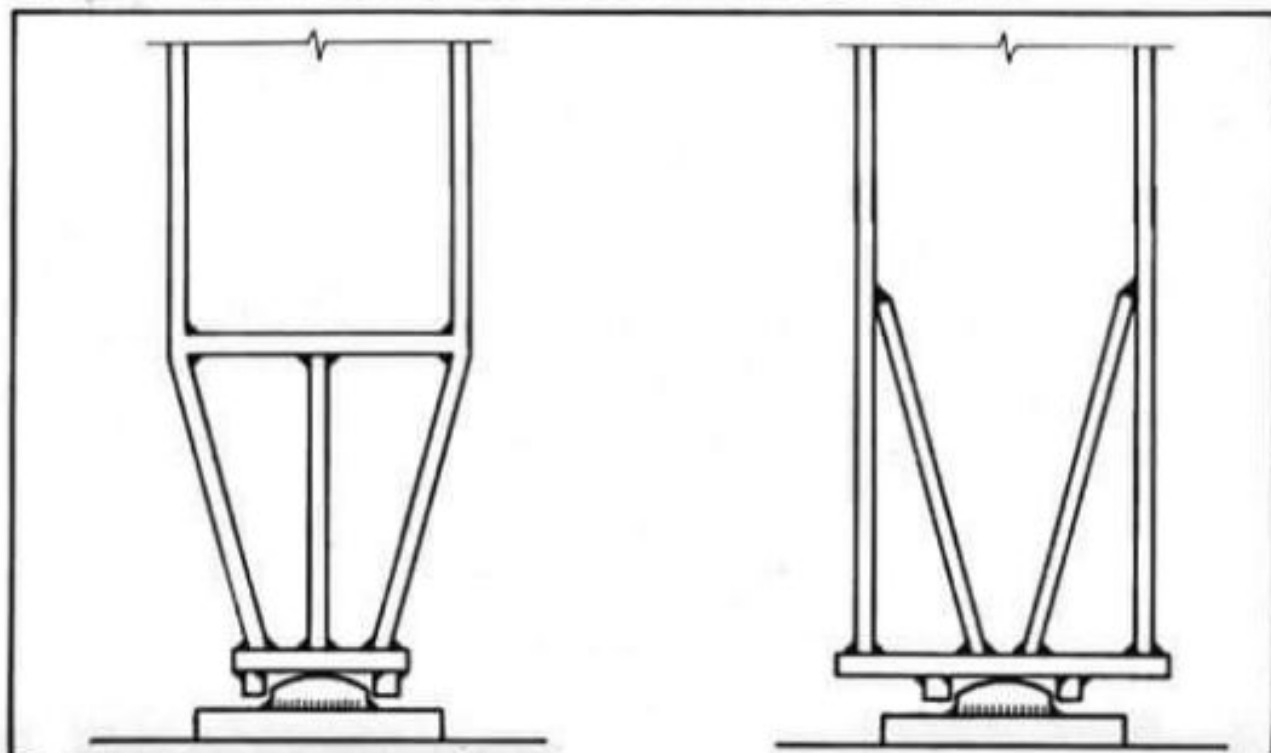
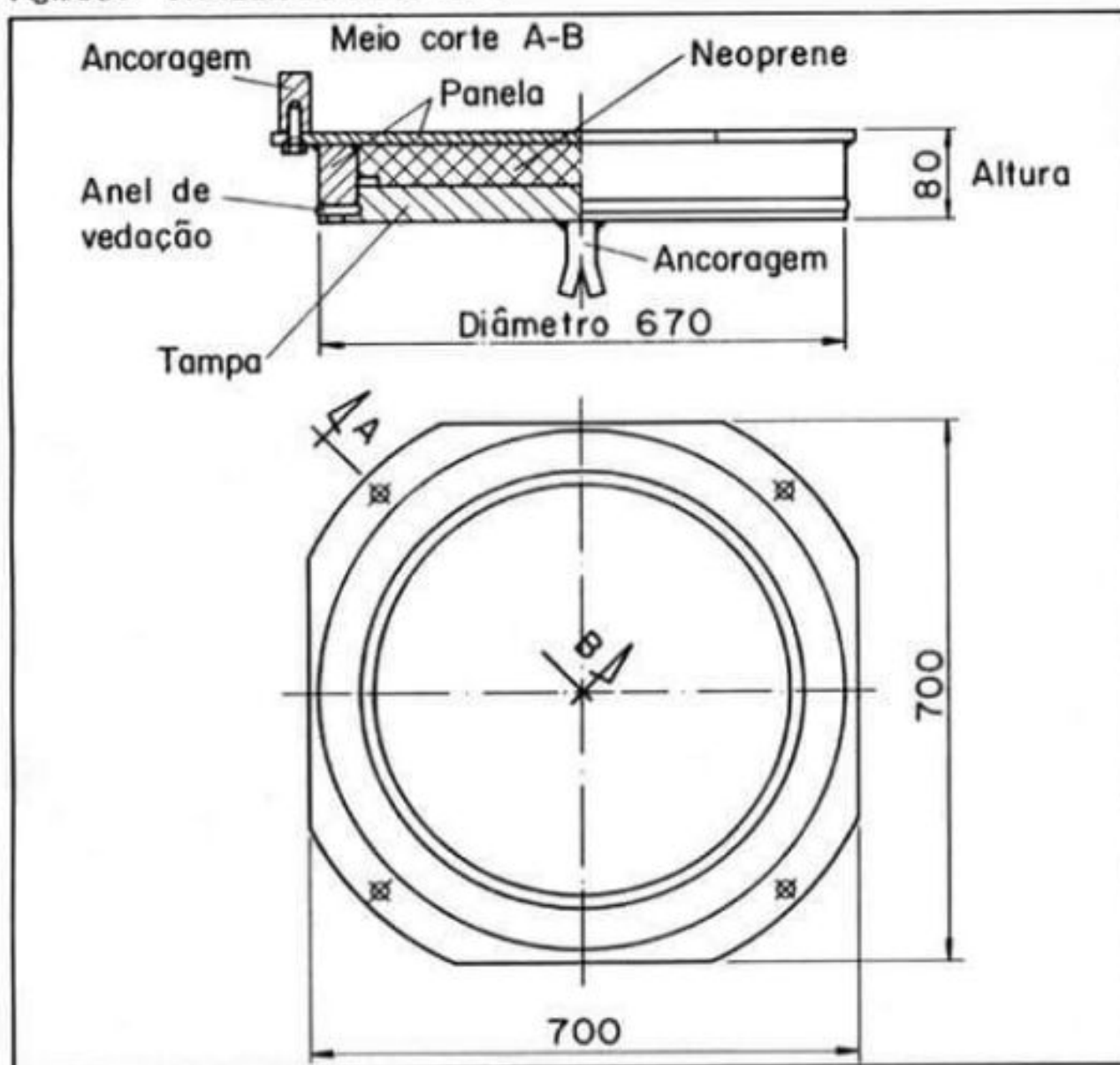
Figura 58 – **BASE DE COLUNA EM RÓTULA LINEAR PERFEITA**

As rótulas dos exemplos da figura 58 são apoios lineares. Para que a rótula funcione em qualquer sentido, o apoio deve ser puntual ou devem ser empregados apoios com neoprene confinado, denominados panelas de neoprene (**Figura 59**).

Figura 59 – **PANELA DE NEOPRENE**

Colunas engastadas na base

É adotada a base de coluna engastada quando o terreno é bom ou as deformações da estrutura devam ser mantidas dentro de certos limites. Nos galpões com pontes rolantes, a solução mais empregada é a base engastada. É uma solução que reduz o custo da estrutura e encarece a fundação.

A base engastada transmite para a fundação o momento, a força normal e o esforço cortante.

Quando os momentos fletores são pequenos em relação à carga vertical, pode-se empregar base de coluna com placa nervurada (**Figura 60**)

Figura 60 — **BASE NERVURADA**

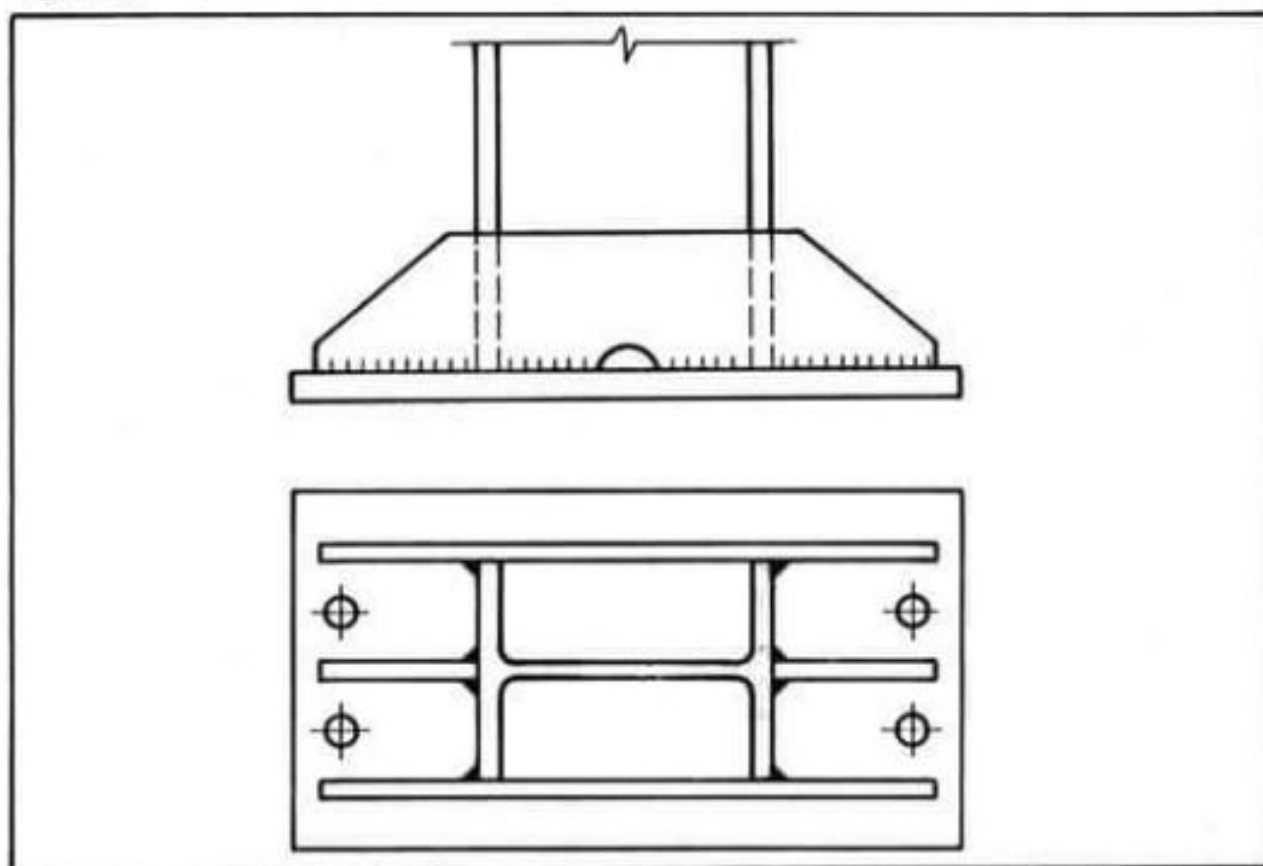
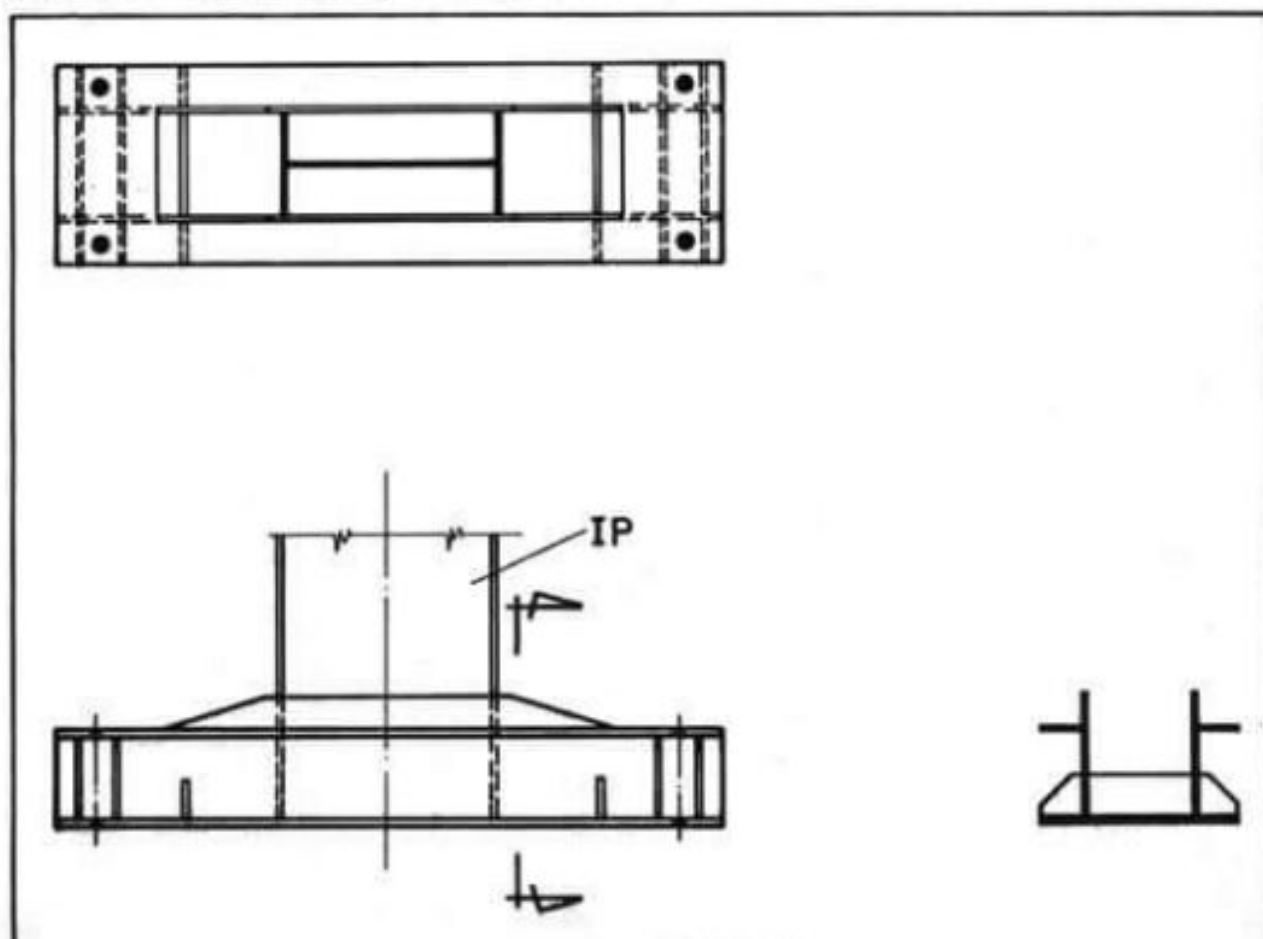



Figura 61 — **BASE COM TRAVESSA**

Colunas com momentos maiores nas bases exigem uma viga de travessa para reduzir a tração nos chumbadores e a compressão no concreto (**Figura 61**).

As construções pesadas — como as de usinas siderúrgicas e de indústria metalúrgica — podem exigir colunas pesadas, compostas de perfis e chapas. Dependendo da relação entre os momentos e cargas normais atuantes, a base terá maior ou menor largura. A **figura 62** dá um exemplo de uma base desse tipo.

Figura 62 — **BASE DE COLUNA EM CONSTRUÇÃO PESADA**

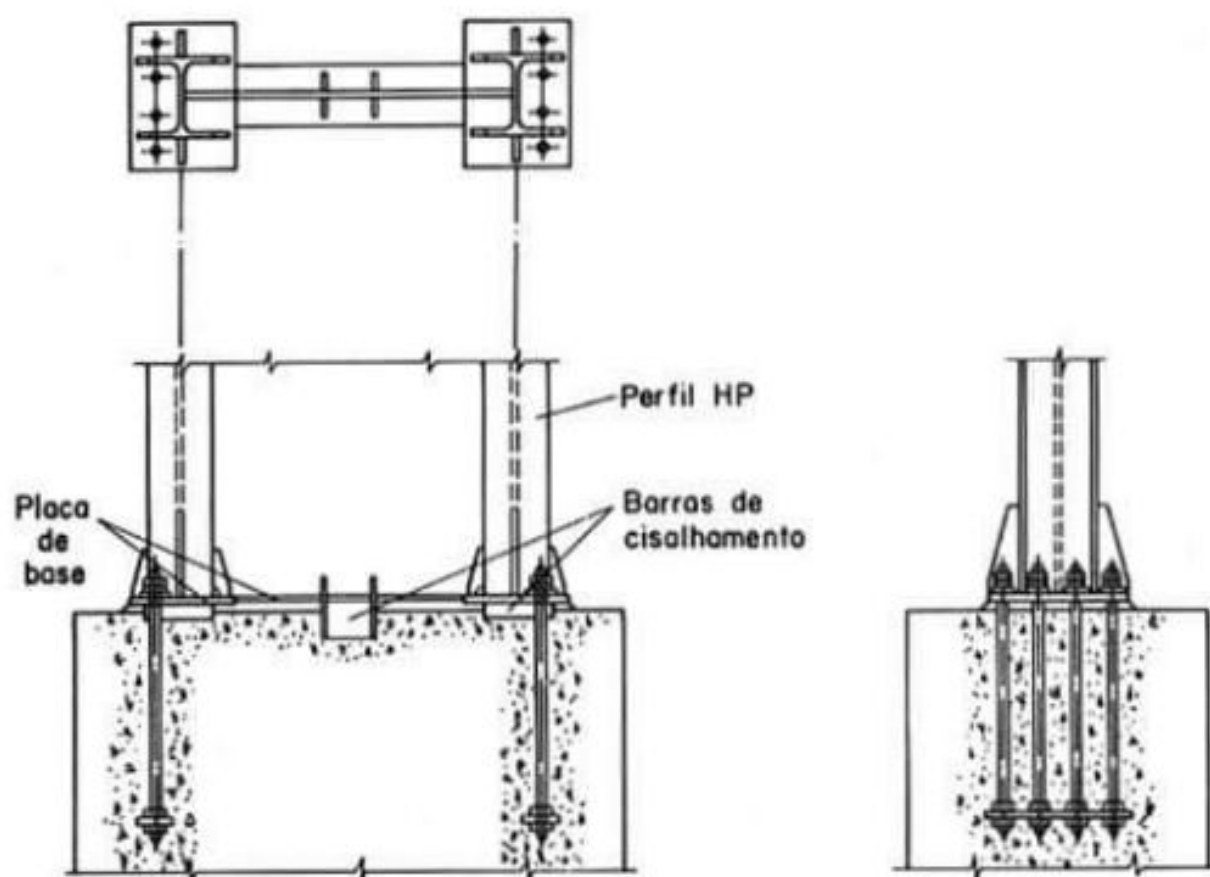
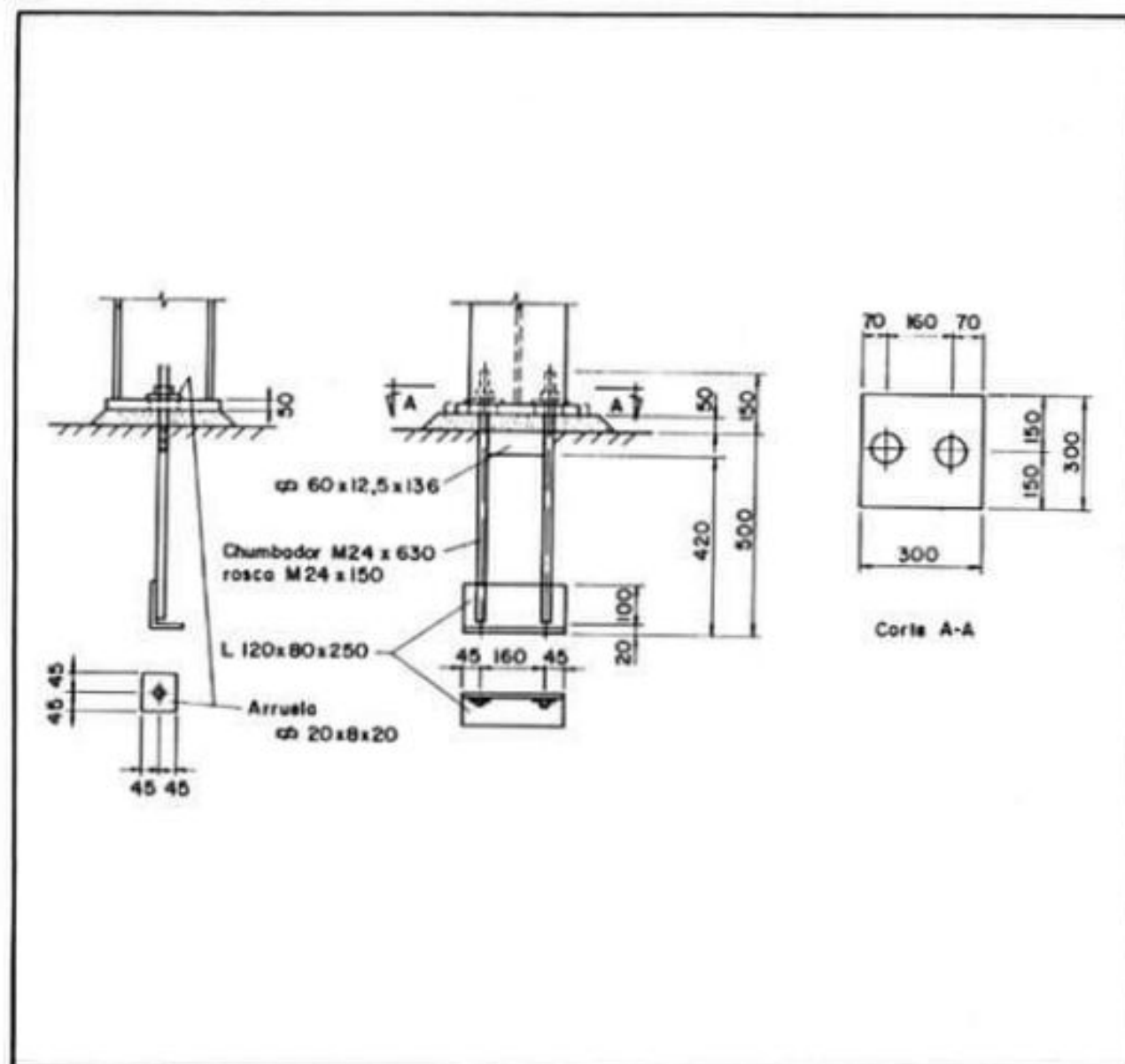



Figura 63 – **CHUMBADOR EMBUTIDO NA CONCRETAGEM PRIMÁRIA**

Ancoragens

As ancoragens ou chumbadores têm finalidades diversas, conforme se trate de coluna rotulada na base ou engastada; no primeiro caso apenas auxiliam a montagem da coluna, enquanto no segundo transmitem os momentos fletores às fundações, através dos esforços de tração nos chumbadores e compressão na placa de base. A transmissão dos esforços pode se dar por atrito ao longo do chumbador ou pela compressão da travessa de ancoragem contra o concreto.

Os chumbadores podem ser concretados já na concretagem primária ou podem ser deixados nichos no concreto, que são enchidos depois da estrutura montada, alinhada e nivelada.

A concretagem direta dos chumbadores exige um trabalho de locação e fixação cuidadoso, de modo a ficarem na posição correta, mantendo-a durante o lançamento do concreto.

Figura 65 – **EXEMPLO DE ANCORAGEM DE COLUNAS ROTULADAS**

Figura 67 – **BASE DE COLUNA ENGASTADA, CONSTRUÇÃO PESADA**

Essa solução é utilizada em colunas rotuladas na base ou colunas engastadas com pequenos esforços. Na **figura 65** estão indicados dois exemplos para colunas rotuladas.

Para as ancoragens com grandes esforços na tração, empregam-se os chumbadores com cabeça-de-martelo. O chumbador entra de lado entre dois perfis C da ancoragem e, depois de passar por essas travessas, é dada uma rotação de 90°. A cabeça-de-martelo pode ser obtida por solda ou ser forjada. Uma ranhura no topo do chumbador indica a posição da cabeça-de-martelo.

A **figura 66** mostra um exemplo de ancoragem desse tipo. Uma solução semelhante é dada na **figura 67** onde, em vez de nichos, são concretados tubos com a travessa de ancoragem já soldada aos mesmos. Em vez de cabeça-de-martelo foi usada uma placa com o chumbador aparafusado a ela.

Figura 66 – **ANCORAGEM COM CHUMBADOR CABEÇA-DE-MARTELO**

Essa solução é utilizada em colunas rotuladas na base ou colunas engastadas com pequenos esforços. Na **figura 65** estão indicados dois exemplos para colunas rotuladas.

Para as ancoragens com grandes esforços na tração, empregam-se os chumbadores com cabeça-de-martelo. O chumbador entra de lado entre dois perfis C da ancoragem e, depois de passar por essas travessas, é dada uma rotação de 90°. A cabeça-de-martelo pode ser obtida por solda ou ser forjada. Uma ranhura no topo do chumbador indica a posição da cabeça-de-martelo.

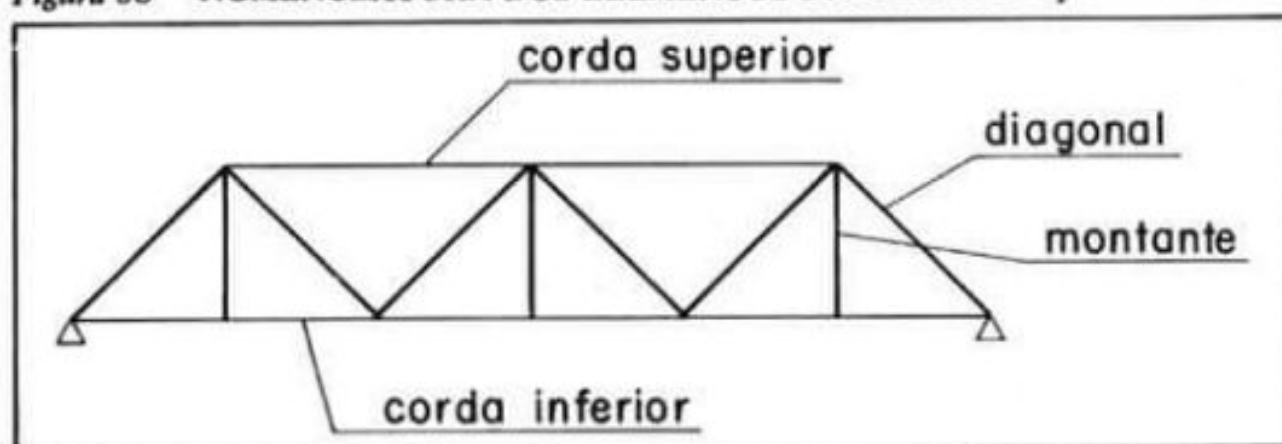
A **figura 66** mostra um exemplo de ancoragem desse tipo. Uma solução semelhante é dada na **figura 67** onde, em vez de nichos, são concretados tubos com a travessa de ancoragem já soldada aos mesmos. Em vez de cabeça-de-martelo foi usada uma placa com o chumbador aparafusado a ela.

Figura 66 – **ANCORAGEM COM CHUMBADOR CABEÇA-DE-MARTELO**

TRELIÇAS

Generalidades

Treliças são elementos estruturais vazados, compostos basicamente das cordas e do treliçamento. O treliçamento pode ser composto de diagonais ou de diagonais e montantes. A nomenclatura dos elementos constituintes de uma treliça está discriminada na figura 68.

Figura 68 – **NOMENCLATURA DOS ELEMENTOS DE UMA TRELIÇA**

No cálculo das treliças, o nó normalmente é considerado como rótula. Nessas condições, quando as cargas são aplicadas nos nós, somente ocorrem esforços normais de tração ou compressão nas barras da treliça.

Na realidade, a rotação dos nós, provocada pela flecha de treliça carregada, introduz momentos secundários na estrutura. Estes momentos se mantêm pequenos, por serem as barras das treliças normalmente muito esbeltas, o que permite a consideração de rótulas, mesmo para nós rígidos como os de estruturas soldadas. Os nós, projetados como rótulas com um único pino, não eliminam os momentos secundários devidos à ocorrência de atrito, além de serem mais caros e, via de regra, menos seguros.

Nas pontes ferroviárias e em certas vigas de rolamento treliçadas, sujeitas a pesadas condições dinâmicas de cargas, os momentos secundários não podem ser desprezados, devendo ser analisados e os nós projetados convenientemente.

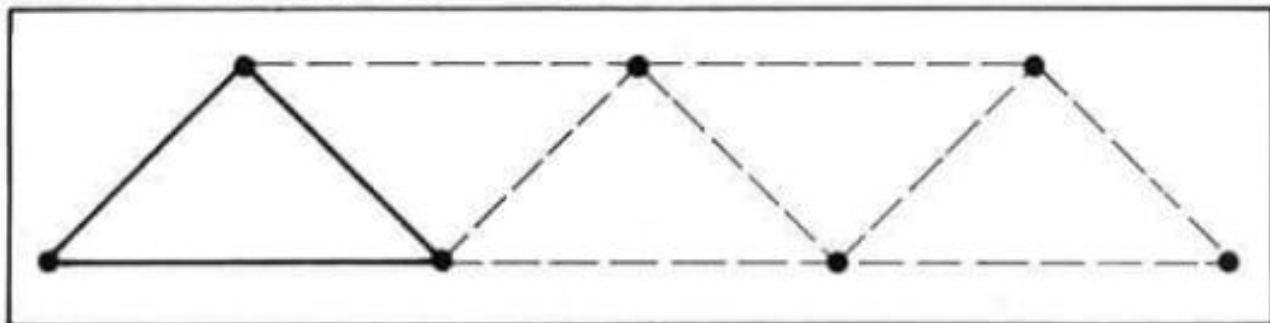
As treliças, por estarem sujeitas somente a esforços axiais, permitem melhor utilização do material. Uma treliça, dimensionada adequadamente, é sempre mais leve que uma viga de alma cheia. Para vãos pequenos, sujeitos a grandes cargas, não se devem empregar treliças, por se tornarem pesadas, pouco estéticas e de execução trabalhosa. As vantagens das treliças em relação às vigas de alma cheia crescem com o aumento do vão e com a redução das cargas aplicadas e quando são necessárias peças com maior rigidez à flexão. Em edifícios, as vigas treliçadas podem se tornar interessantes, por permitirem a passagem de dutos pelo treliçamento.

As desvantagens das treliças advêm de seu custo mais elevado e de considerações estéticas. O custo mais elevado é decorrente do maior preço por peso de perfis e do maior volume de mão-de-obra para fabricação, pintura, montagem e conservação. As treliças são empregadas quando ocorrem grandes vãos de terças, tesouras, vigas de edifícios, vigas de rolamento, pontes ferroviárias ou em estruturas como: gruas, torres e mastros, subestações e contraventamentos.

As treliças são raramente empregadas em pontes rodoviárias ou onde existe ocorrência de atmosfera agressiva, que exige muita manutenção.

Projeto de treliças

A treliça é um sistema reticulado, formado por um triângulo básico, composto de três barras e três nós, ao qual cada novo nó é ligado por duas novas barras.

Figura 69 – **FORMAÇÃO DE TRELIÇA**

Um número de barras maior que o indicado na **figura 69** torna o sistema internamente indeterminado.

Algumas regras básicas para o projeto de treliças são descritas a seguir:

a) Para se evitarem momentos nas barras, as treliças devem ser projetadas de modo que as cargas atuem nos nós. Pode-se fugir a esse procedimento, quando o treliçamento se tornar mais denso.

b) As cordas devem ser projetadas contínuas, com um mínimo de emendas e com trechos retos entre os nós. Treliças com curvas entre os nós são de fabricação trabalhosa e introduzem momentos adicionais.

c) Devido a problemas de flambagem, as peças comprimidas devem ser projetadas com o menor comprimento possível.

d) Devem ser evitados ângulos muito agudos entre as barras (inferiores a 30°), por exigirem chapas de nó muito grandes, afastando-se da hipótese de cálculo (que considera os nós como rótulas), além de apresentarem efeitos estéticos desfavoráveis e dificuldades de fabricação.

A relação mais econômica entre altura e vão para treliças trapezoidais biapoiadas está compreendida entre 1/7 e 1/10. Conseguem-se treliças mais leves em tesouras com relação H/L = 1/5; tais treliças têm, entretanto, pequena rigidez lateral, dificultando o manuseio e o transporte. Por outro lado, quando se necessita de pequena altura, pode-se chegar até à relação 1/15, desde que, no projeto, seja dada a devida atenção ao problema de rigidez e da flecha. As treliças triangulares exigem maior altura, para evitar ângulos muito agudos.

Sendo conveniente reduzir as ligações de montagem a um mínimo, a altura não deve ultrapassar a dimensão admissível de transporte ferroviário e rodoviário de 2,4m e, em casos especiais, 3m. Acima desses valores, a treliça deverá ser transportada desmontada ou será onerada com adicional especial. As mesmas considerações devem ser tomadas em relação ao comprimento, para evitar maior ônus no transporte.

Tipos de treliças

Quanto à forma externa, as treliças podem ser classificadas em quatro grupos principais (**Figura 70**).

a) Treliças de cordas paralelas
b) Treliças trapezoidais
c) Treliças triangulares
d) Treliças parabólicas

Figura 70 – **TIPOS DE TRELIÇAS**

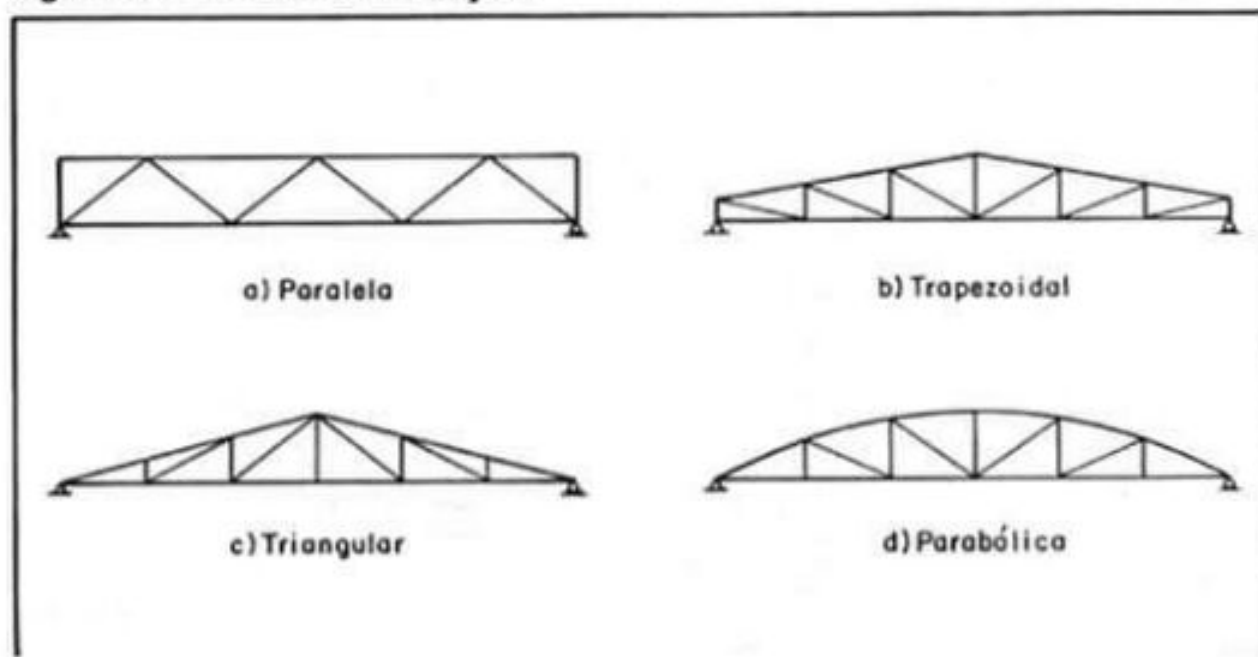
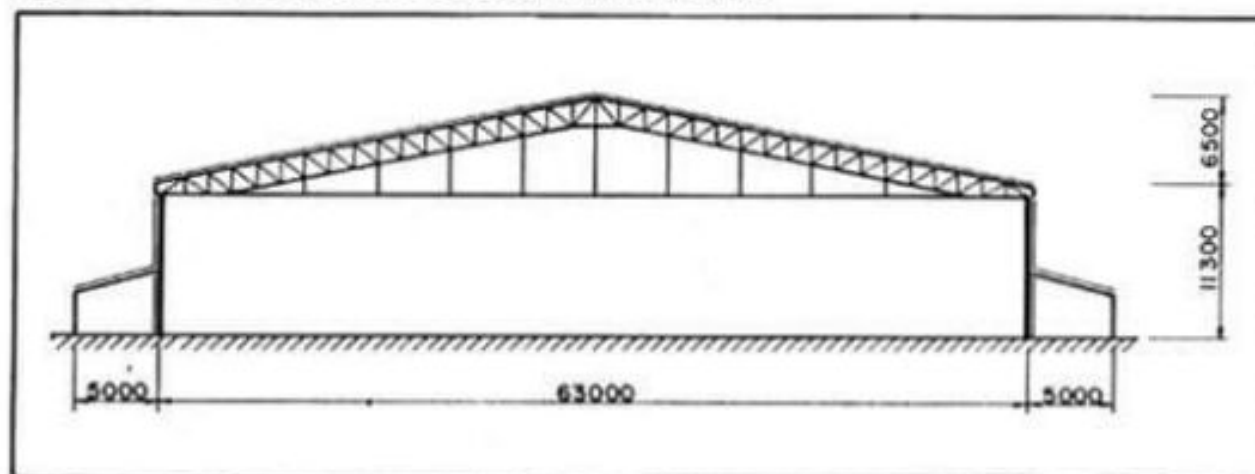



Figura 71 – **TRELIÇA DE CORDAS PARALELAS**

a) As treliças de cordas paralelas são empregadas em:

- Terças de grandes vãos.
- Vigas de piso, quando o vão é grande ou se deseja liberdade para passagem de dutos pelo treliçamento.
- Vigas de grandes vãos e pequenas cargas, como
- Vigas longitudinais em beirais de galpões.
- Vigas de rolamento de vãos acima de 30m.
- Colunas.

As treliças de grandes vãos, retas ou em arco, podem ser enquadradas neste grupo **(Figura 71)**.

b) *Treliças trapezoidais*

São as mais empregadas em tesouras, sendo as que melhor aspecto estético apresentam, principalmente se são constituídas somente de diagonais.

c) *Treliças triangulares*

São também empregadas em tesouras de pórticos e em sheds.

d) *Treliças parabólicas*

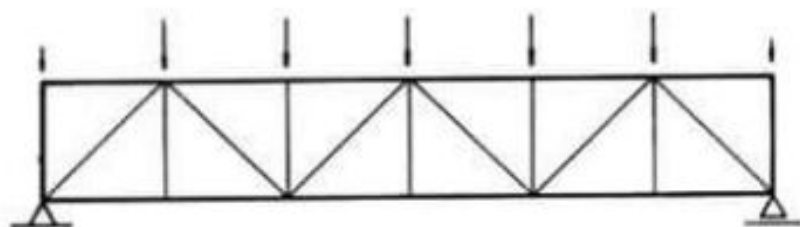
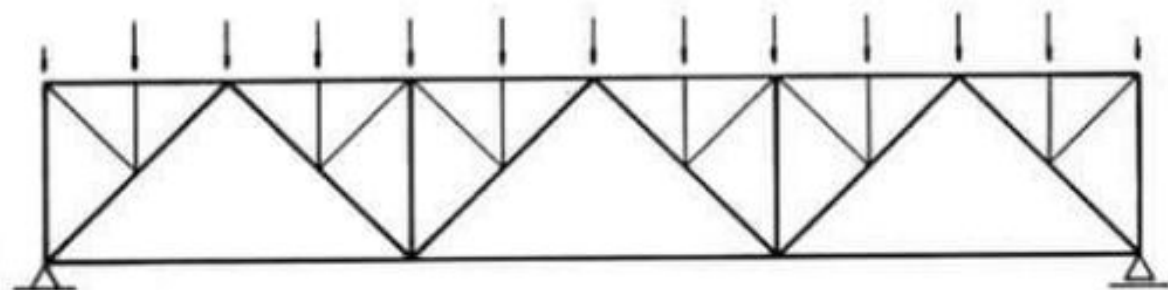
Têm seu emprego restrito a vãos muito grandes, onde podem apresentar economia.

Quanto ao treliçamento, existem vários tipos diferentes:

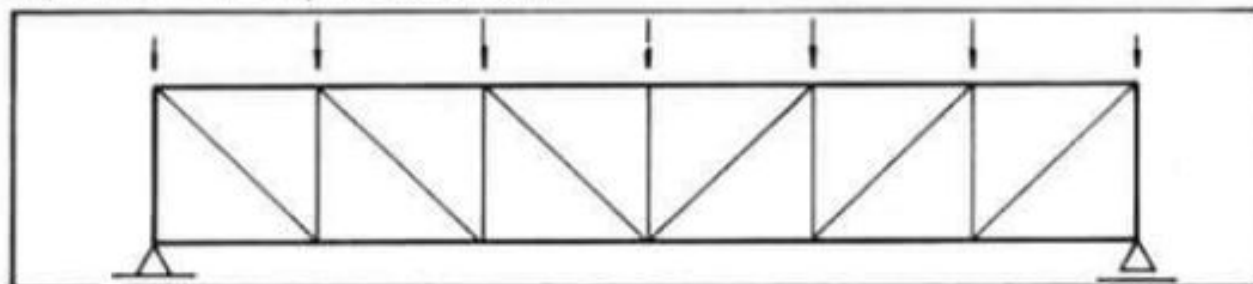
a) Treliçamento somente com diagonais
b) Treliçamento em N
c) Treliçamento romboidal
d) Treliçamento em Cruz de Santo André

a) *Treliçamento somente com diagonais* (Figura 72a)

É o que permite estrutura com aparência mais harmoniosa e limpa. Entretanto, quando a distância entre as cargas atuantes é pequena, torna-se desaconselhável por conduzir a um treliçamento muito denso. Nesse caso, ou se consideram no projeto as cargas atuando fora dos nós, com os inconvenientes de momentos nas cordas, ou se adicionam montantes (Figura 72b). Para vãos muito grandes, pode-se ainda criar treliçamento secundário de diagonais e montantes (Figura 72c).

Figura 72 — **TRELIÇAMENTO COM DIAGONAIS**

b) *Treliçamento em N, com diagonais e montantes*

É muito econômico, porque permite que as diagonais, sendo peças mais compridas, sejam tracionadas e os montantes, mais curtos, só trabalhem à compressão **(Figura 73)**.

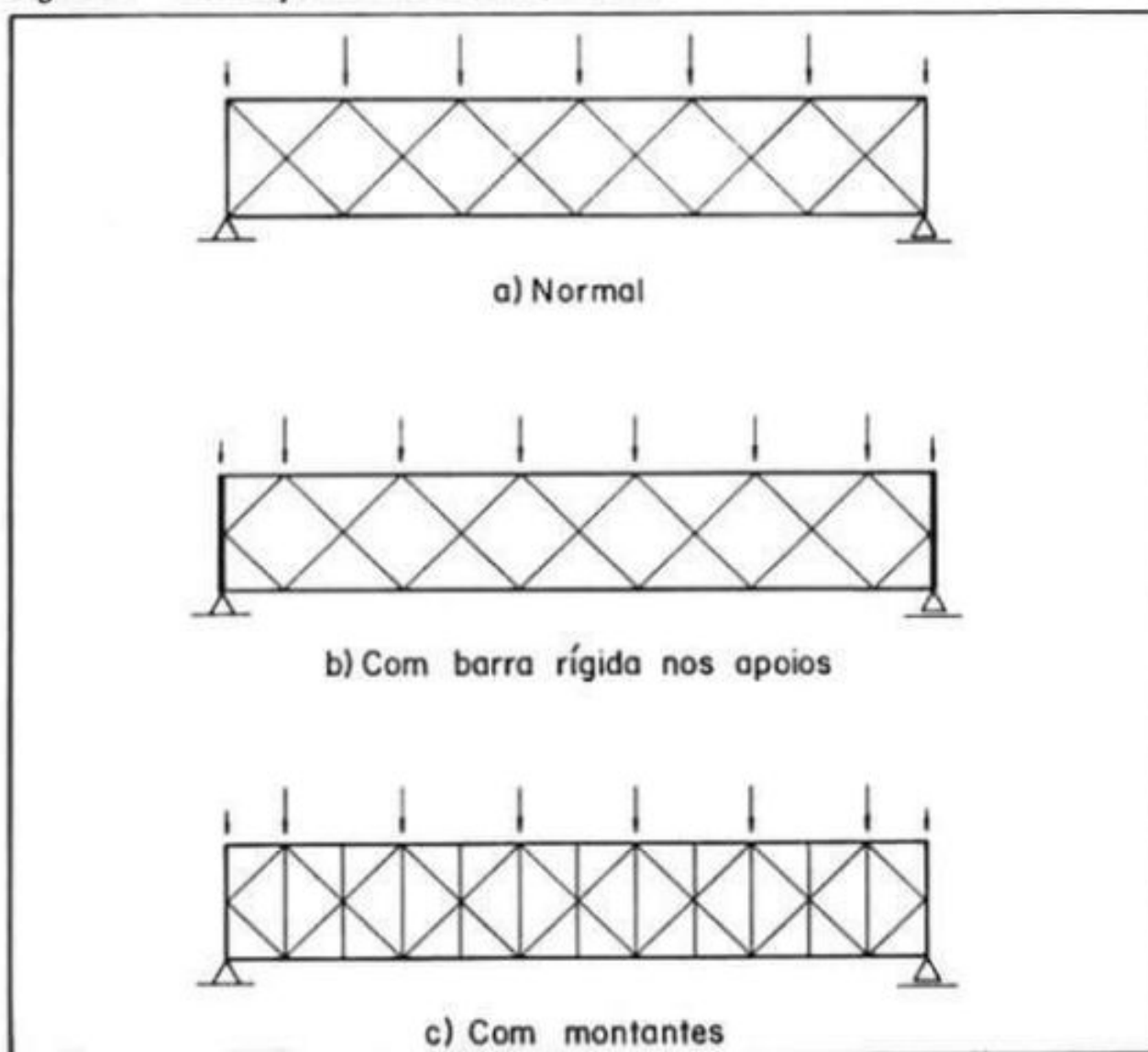
Figura 73 – **TRELIÇAMENTO EM N**

c) *Treliçamentos romboidais*

São empregados em postes de grandes vãos e em contraventamentos **(Figura 74)**.

Figura 74 – **TRELIÇAMENTOS ROMBOIDAIS**

a) Normal

b) Com barra rígida nos apoios

c) Com montantes

d) *Treliçamento em Cruz de Santo André*

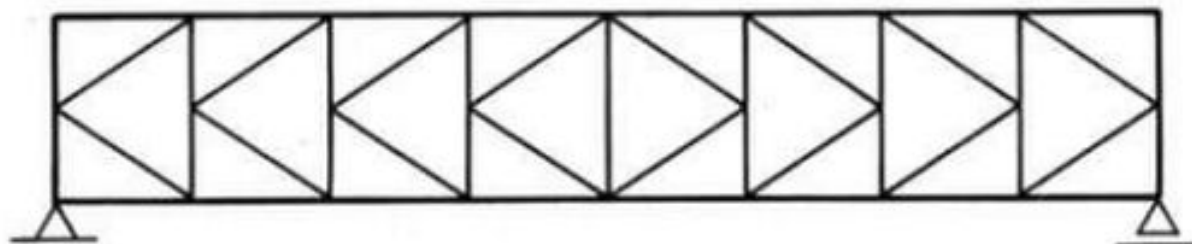
É muito utilizado nos contraventamentos do plano de cobertura **(Figura 75)**.

As treliças são dimensionadas como as treliças em N, com diagonais trabalhando somente à tração. Em estruturas mais pesadas, como em vigas de rolamento para grandes cargas ou pontes ferroviárias, as diagonais trabalham à tração e à compressão, constituindo o exemplo típico de treliça em Cruz de Santo André.

Figura 75 – **TRELIÇAMENTO EM CRUZ DE SANTO ANDRÉ**

e) *Treliça K*

Pode-se tornar econômica em vigas ou colunas com grande altura ou largura, respectivamente **(Figura 76)**.

Figura 76 – **TRELIÇAMENTO EM K**

Em uma mesma estrutura, em que as treliças sejam aparentes, deve-se procurar empregar um mesmo tipo de treliçamento, de modo a assegurar a estética geral da construção.

Detalhes de nós

Treliças aparafusadas

Treliças aparafusadas somente são empregadas quando as dimensões são muito grandes e existem problemas para o transporte, ou quando este fica onerado por exigir condições especiais e batedores de trânsito. As ligações aparafusadas são, entretanto, as mais empregadas para ligações de campo. Os principais perfis empregados em treliças aparafusadas são os indicados na **figura 77**.

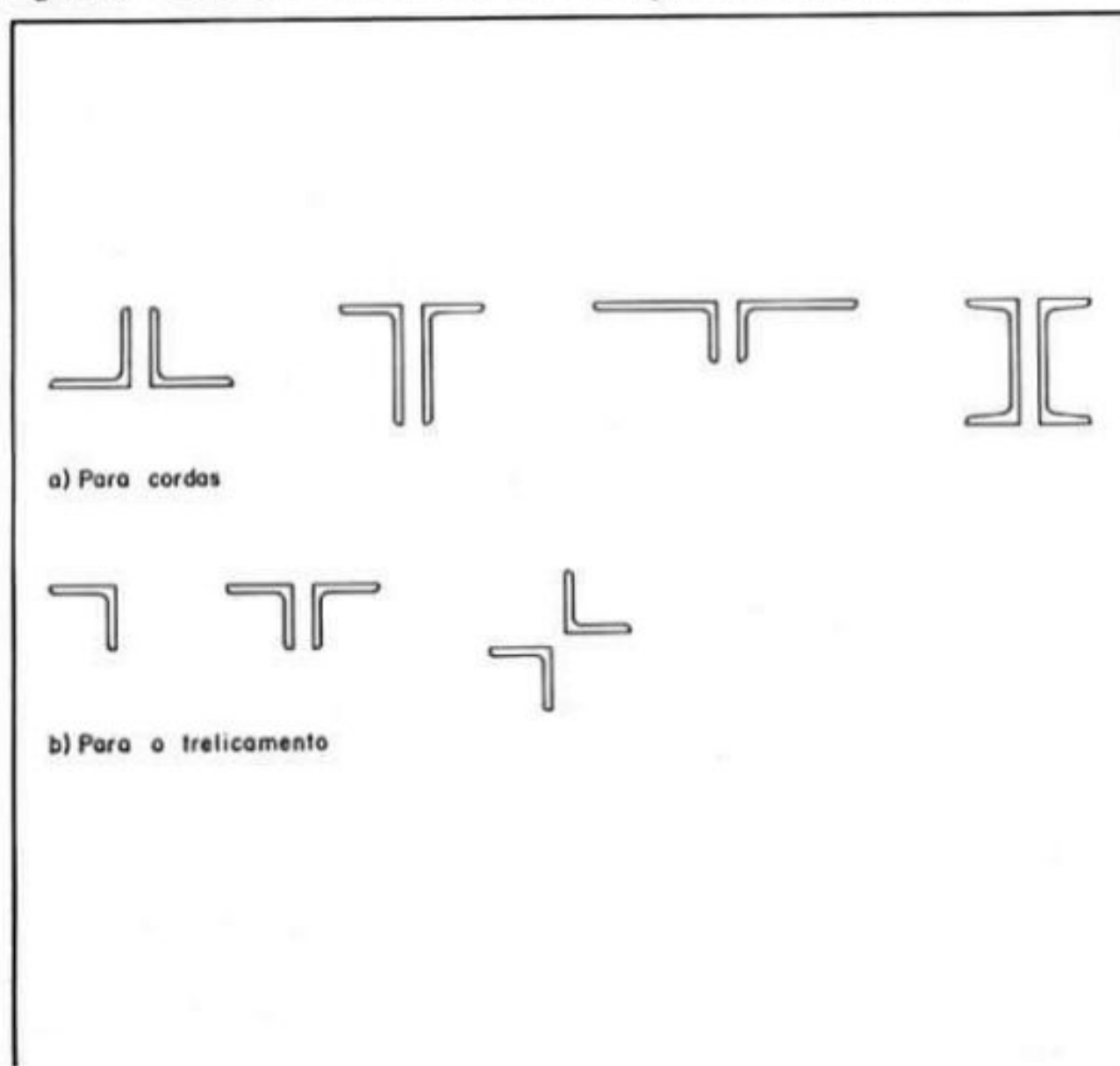
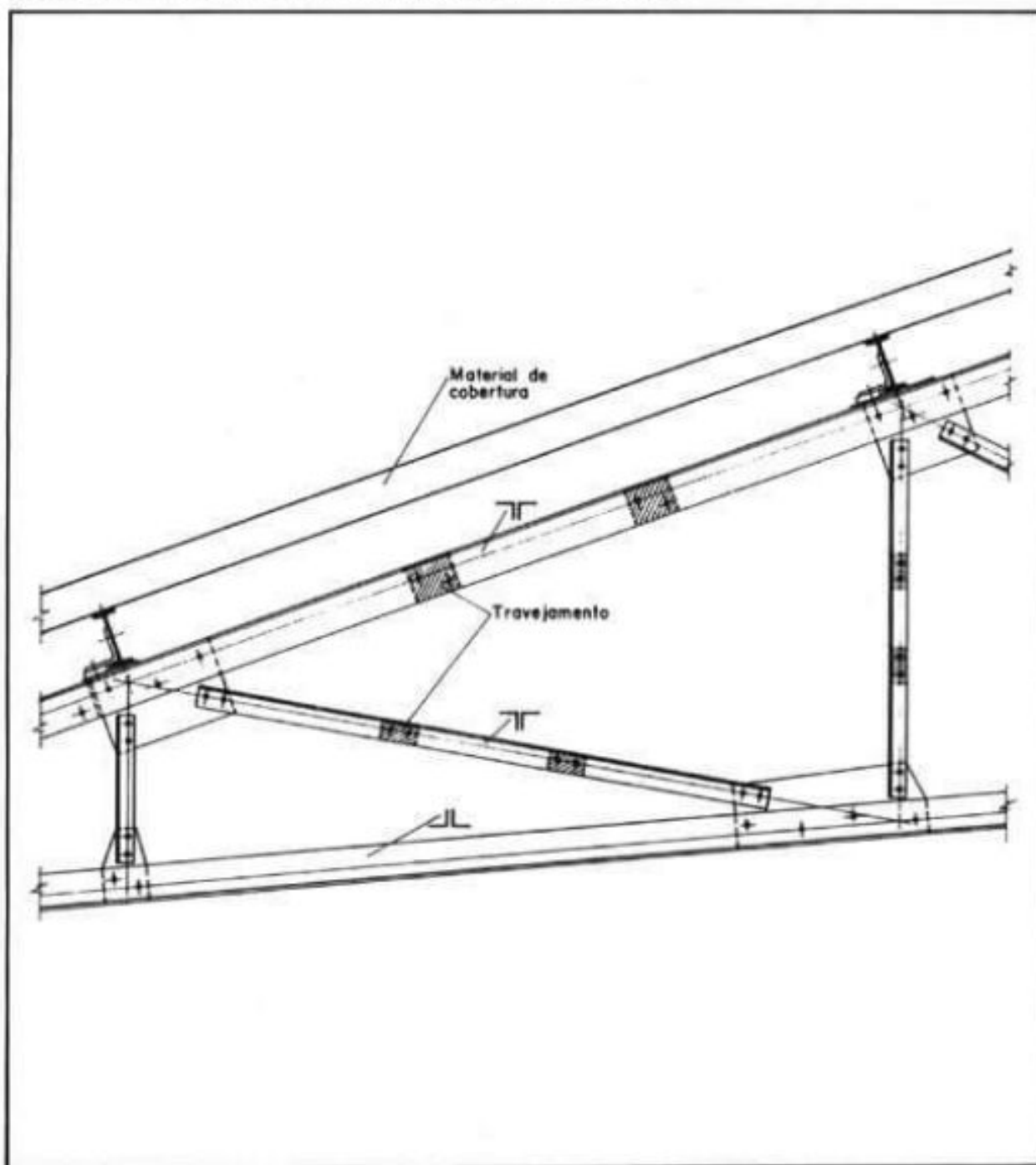
Figura 77 – **PERFIS EMPREGADOS EM TRELIÇAS APARAFUSADAS**

A **figura 78** dá exemplo de uma treliça aparafusada, com barras de travejamento nas peças comprimidas.

Figura 78 – **DETALHE DE TRELIÇA APARAFUSADA**

Nos casos de emenda da corda, as talas de ligação devem ter a mesma área e o centro de gravidade estar o mais próximo possível do das peças da corda.

Treliças soldadas

A seguir estão indicados os tipos de seções mais usuais de cordas em treliças soldadas (**Figura 79**).

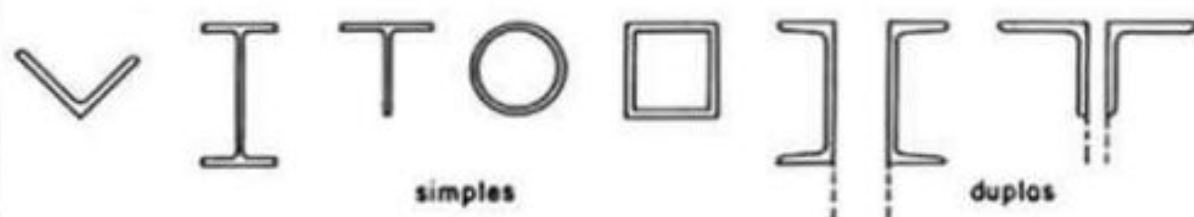
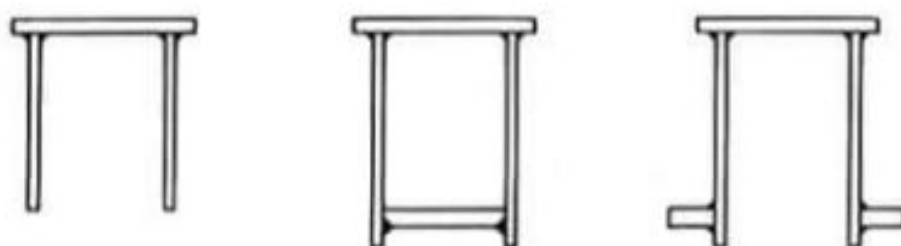
Figura 79 – **SEÇÕES PARA CORDAS DE TRELIÇAS SOLDADAS**

As seções mais empregadas para treliçamento são as da figura 80.

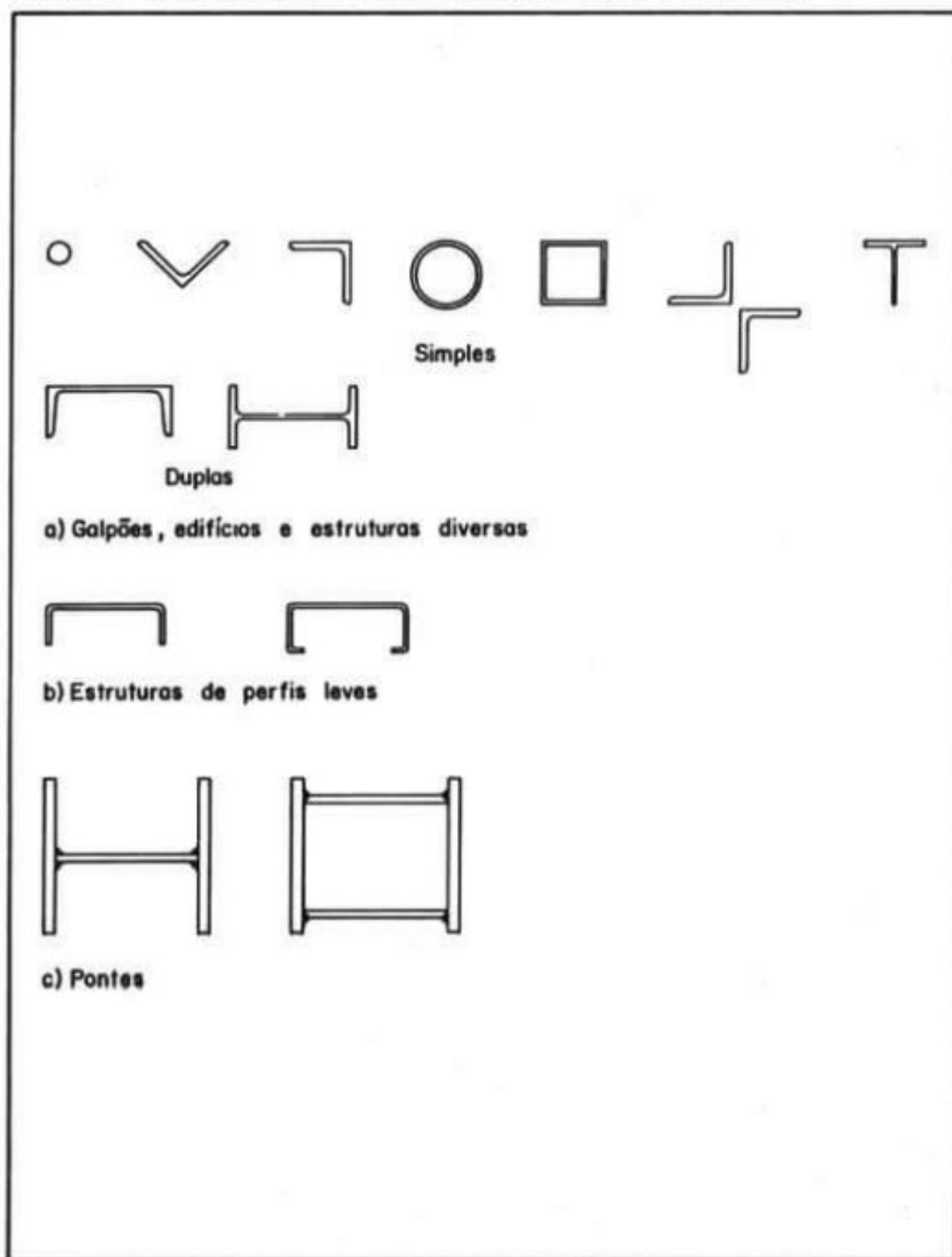
Figura 80 – **SEÇÕES USUAIS PARA TRELIÇAMENTOS SOLDADOS**

A figura 81 mostra vários exemplos de detalhes de ligações das diagonais com a corda inferior e com a cumeeira.

Figura 81 – **DETALHES DE TRELIÇAS SOLDADAS**

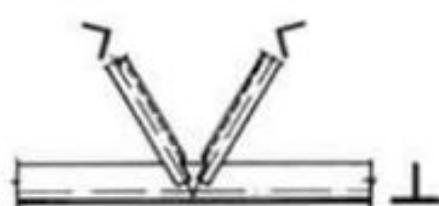
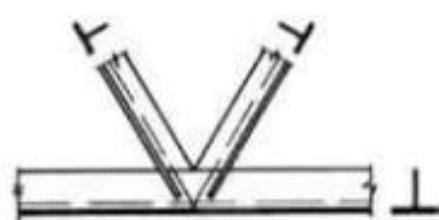
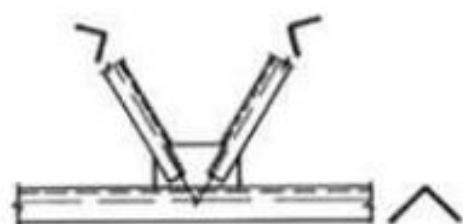
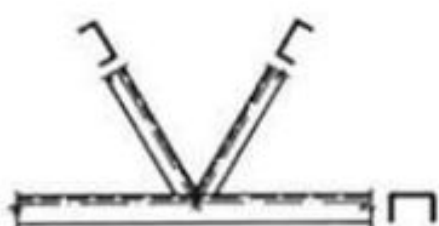
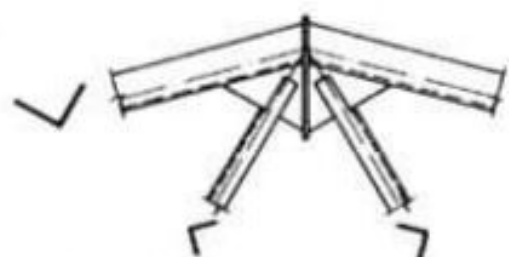
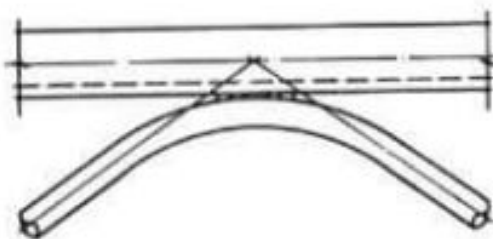
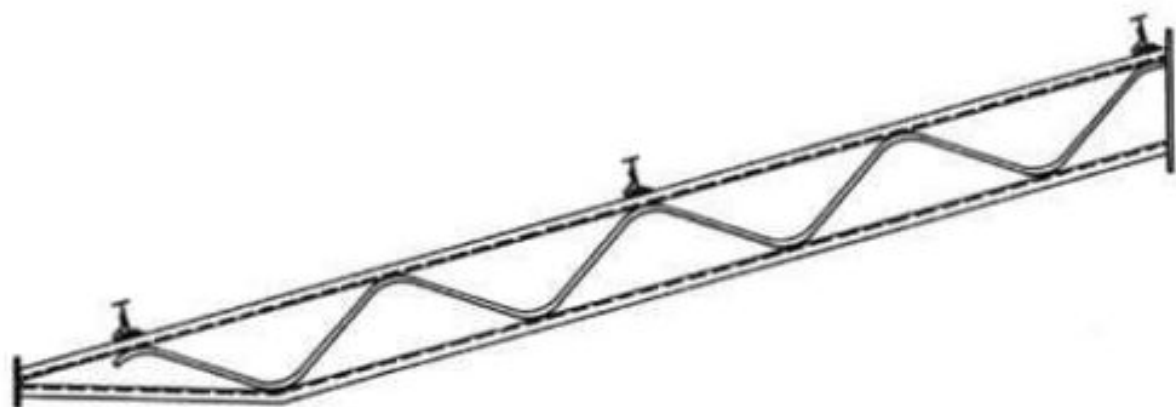
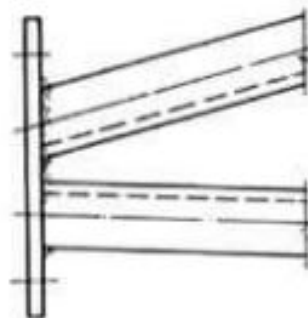



Figura 82 – **VIGA DE SHED COM TRELIÇAMENTO EM BARRA REDONDA**

Apoios

A **figura 83** mostra exemplos de apoios engastados de treliças em colunas. Na **figura 84** estão indicados apoios rotulados de treliças.

Figura 83 – **DETALHE DE APOIO DE TRELIÇAS ENGASTADAS**

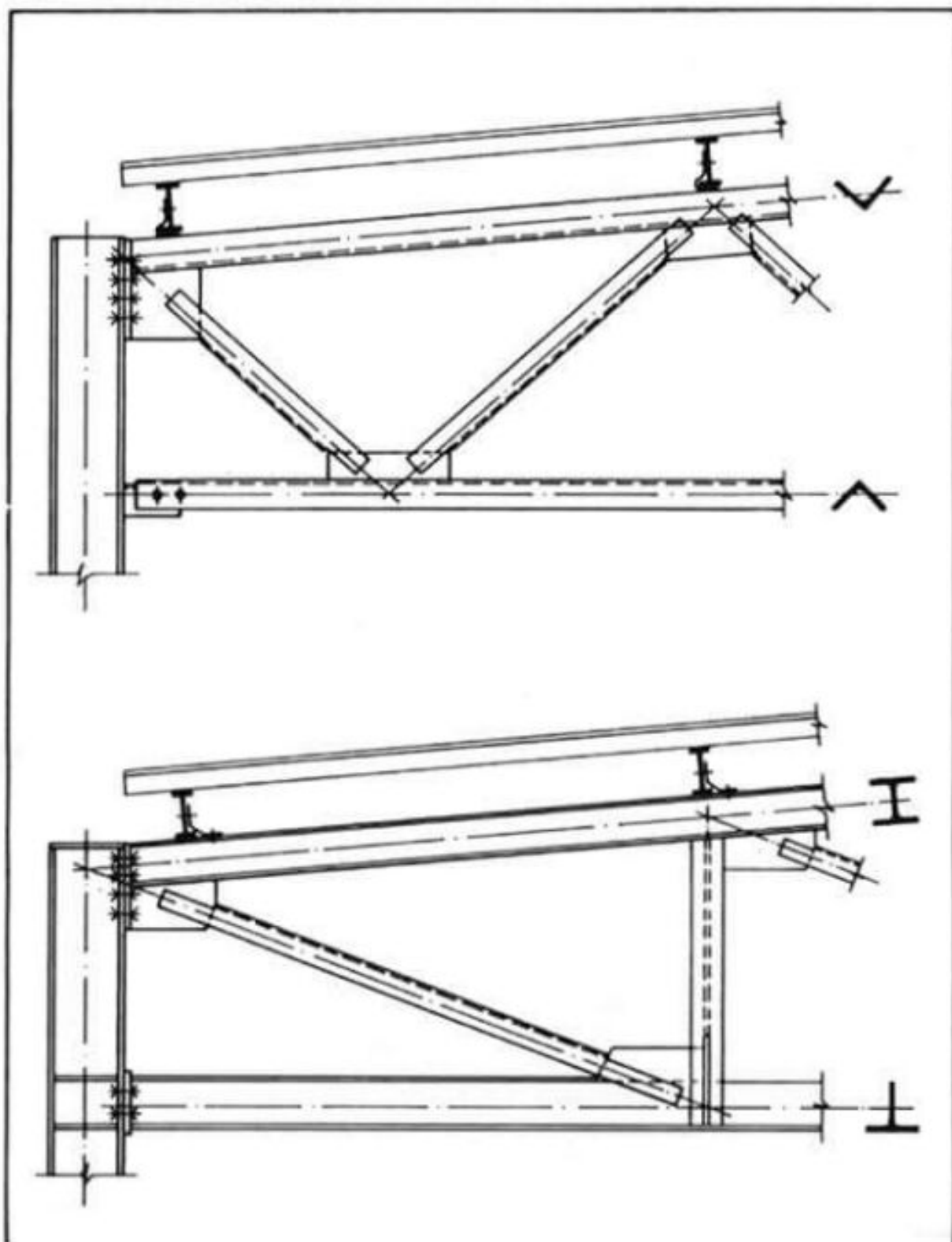



Figura 84 – **DETALHES DE APOIO DE TRELIÇAS SOLDADAS**

METALÚRGICA
SERRALHERIA

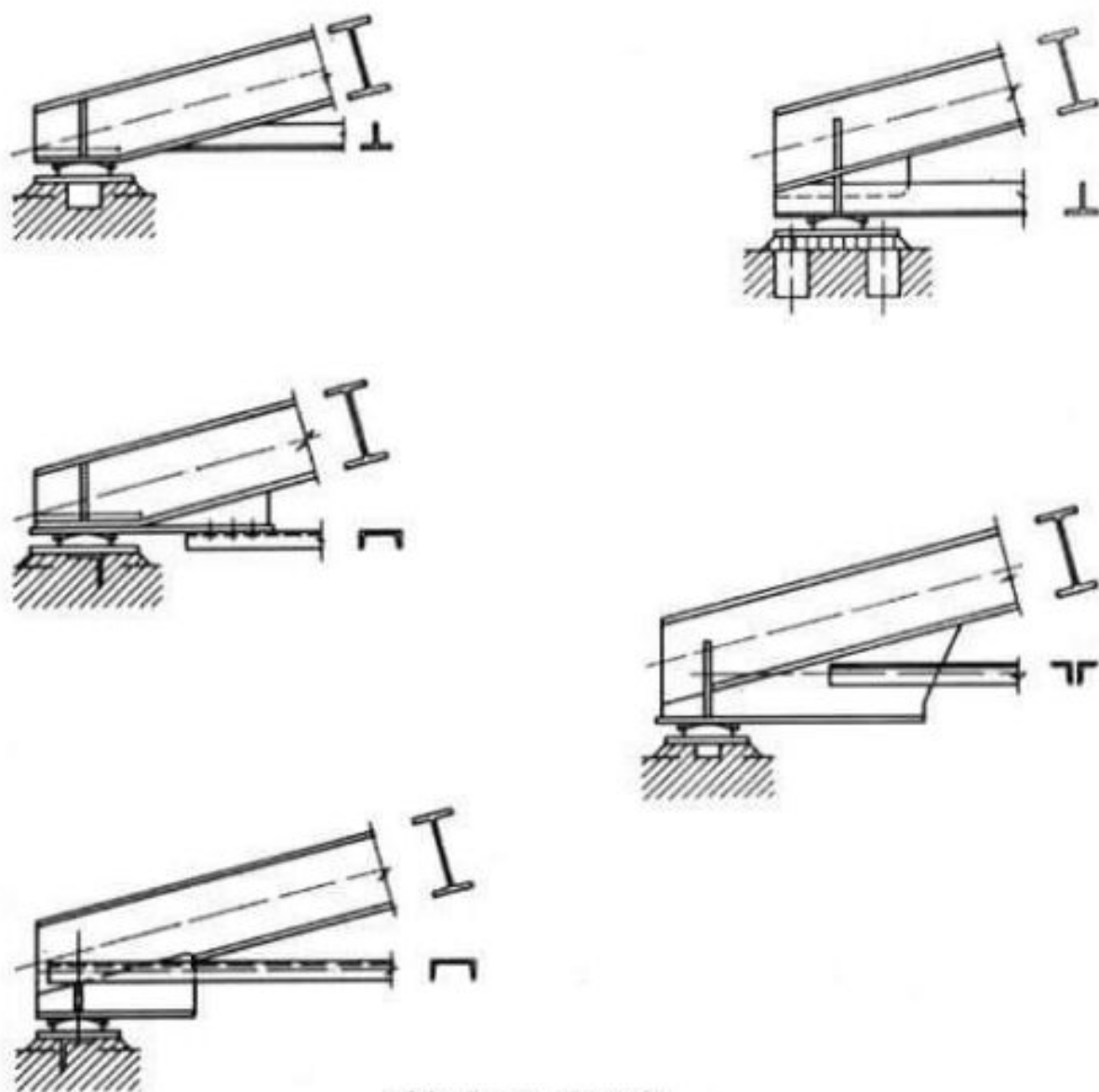
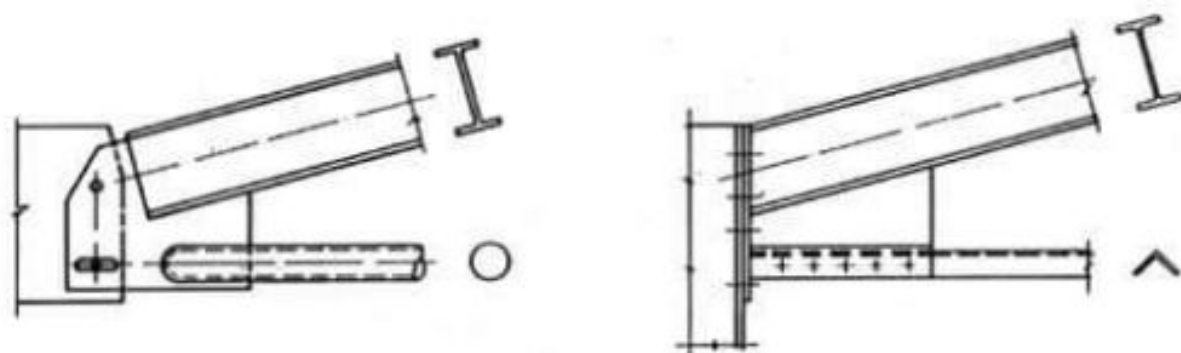
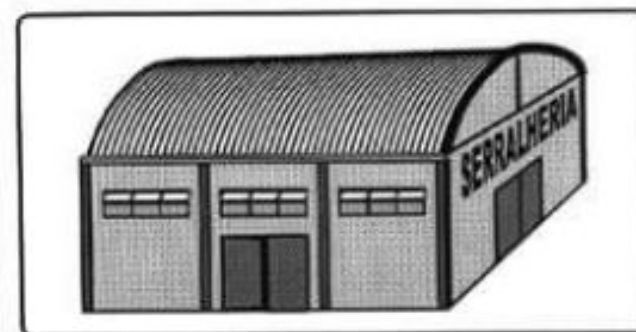
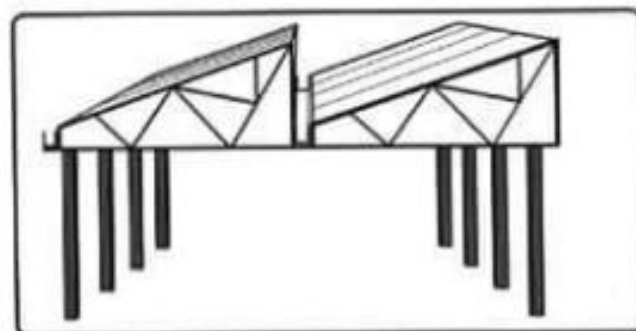
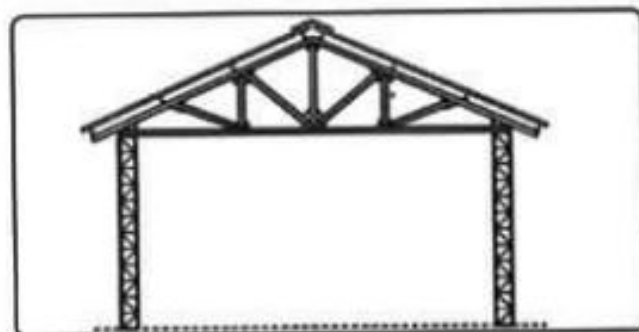
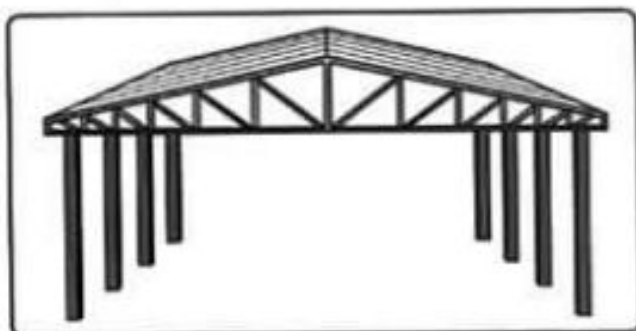
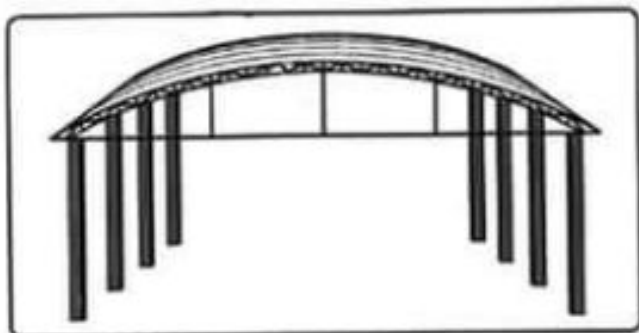
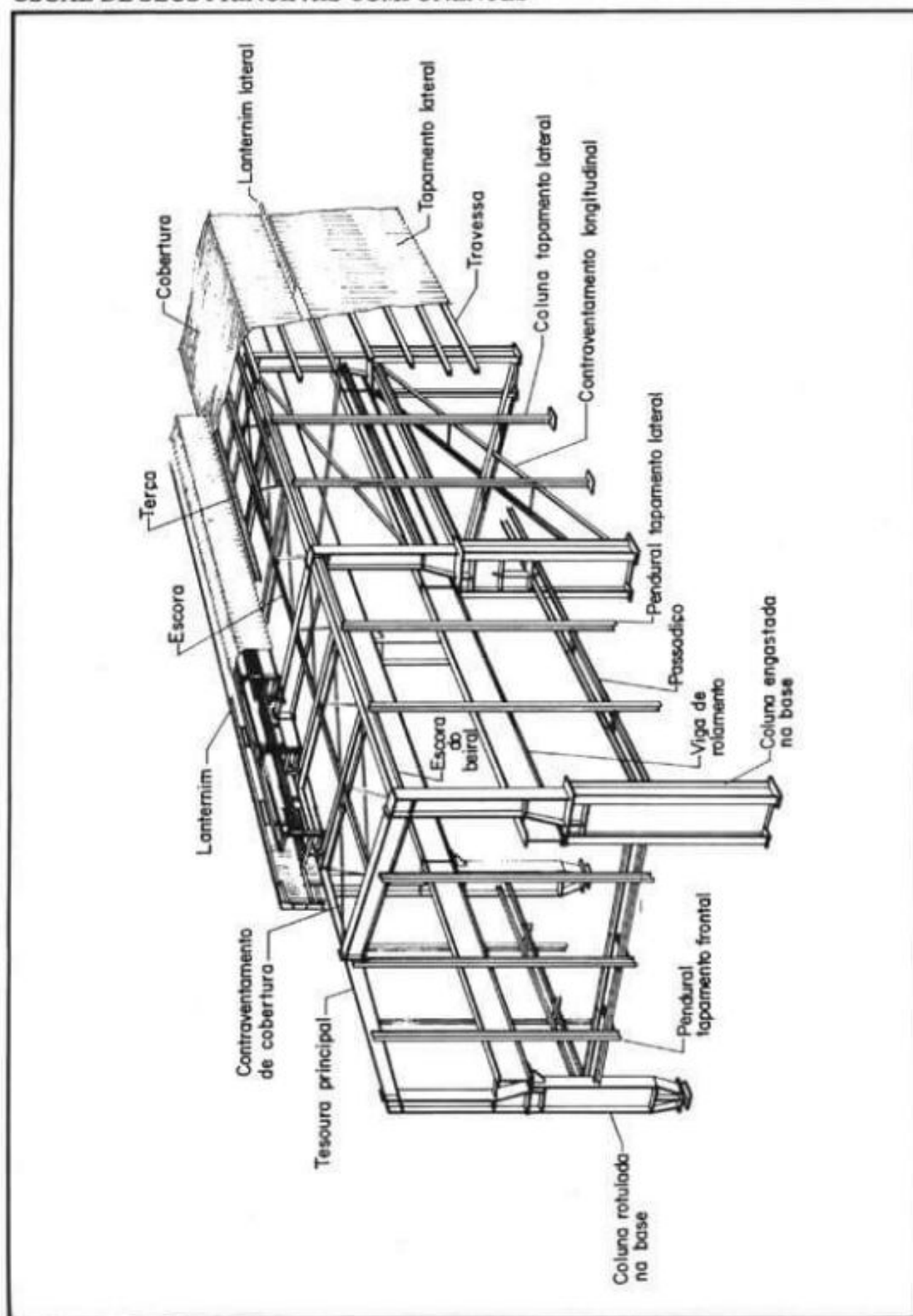
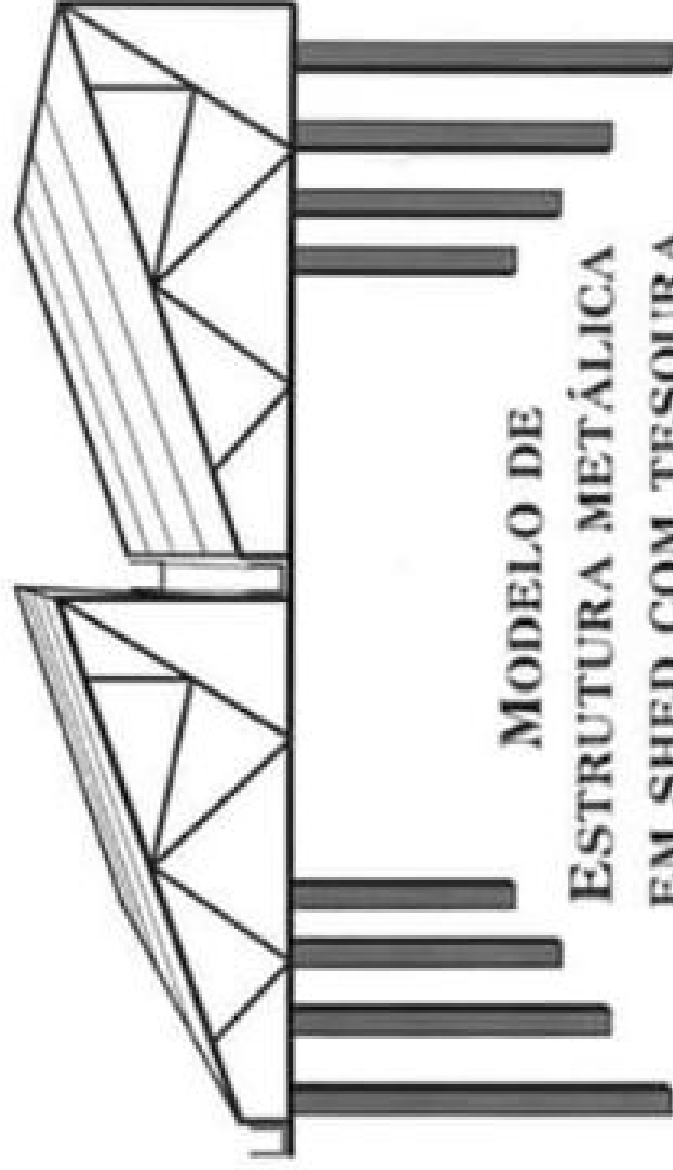
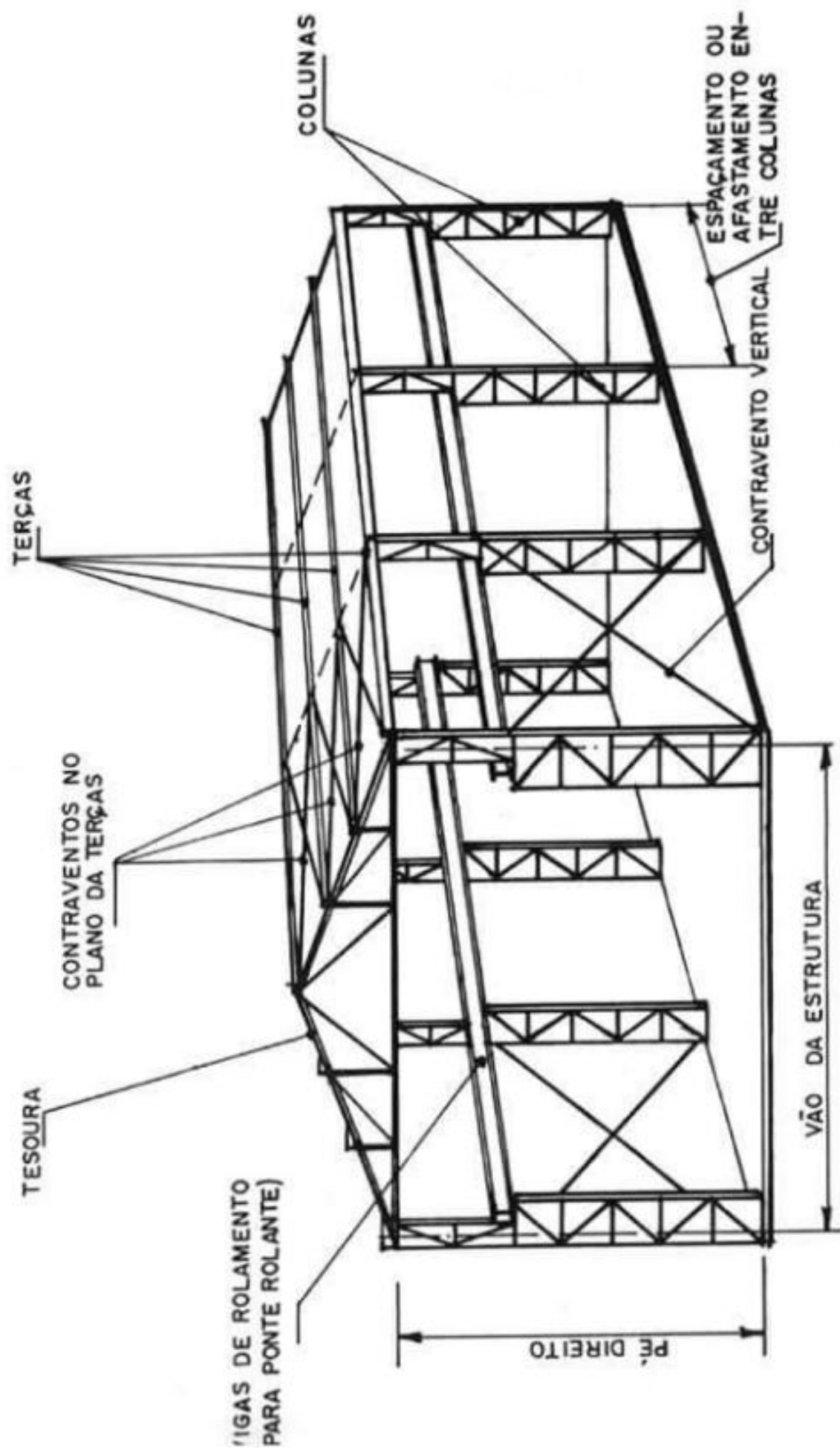



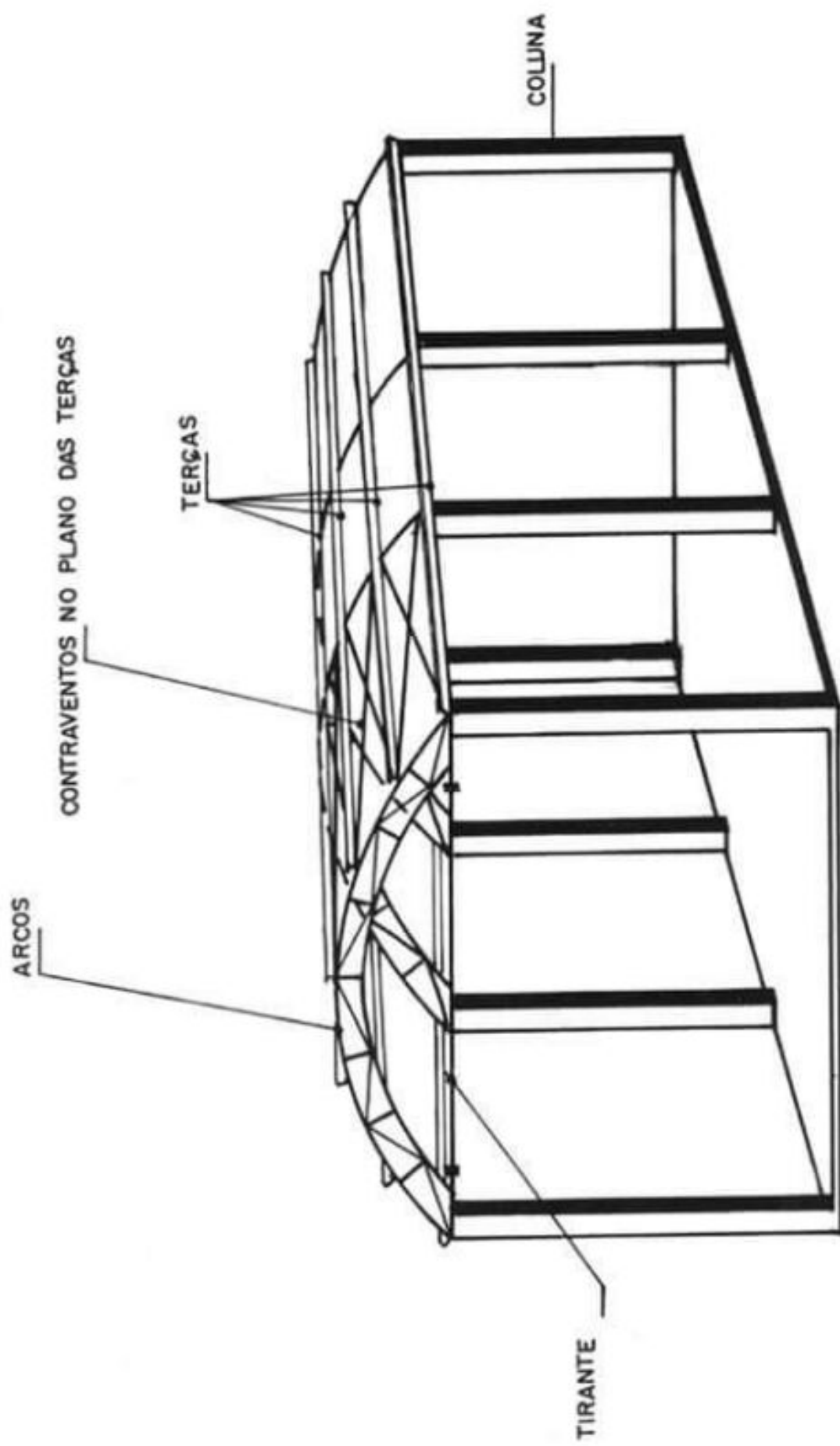
FIGURA TÍPICA DE UM GALPÃO INDUSTRIAL COM INDICAÇÃO DO NOME USUAL DE SEUS PRINCIPAIS COMPONENTES

MODELO DE
ESTRUTURA METÁLICA
EM TESOURA

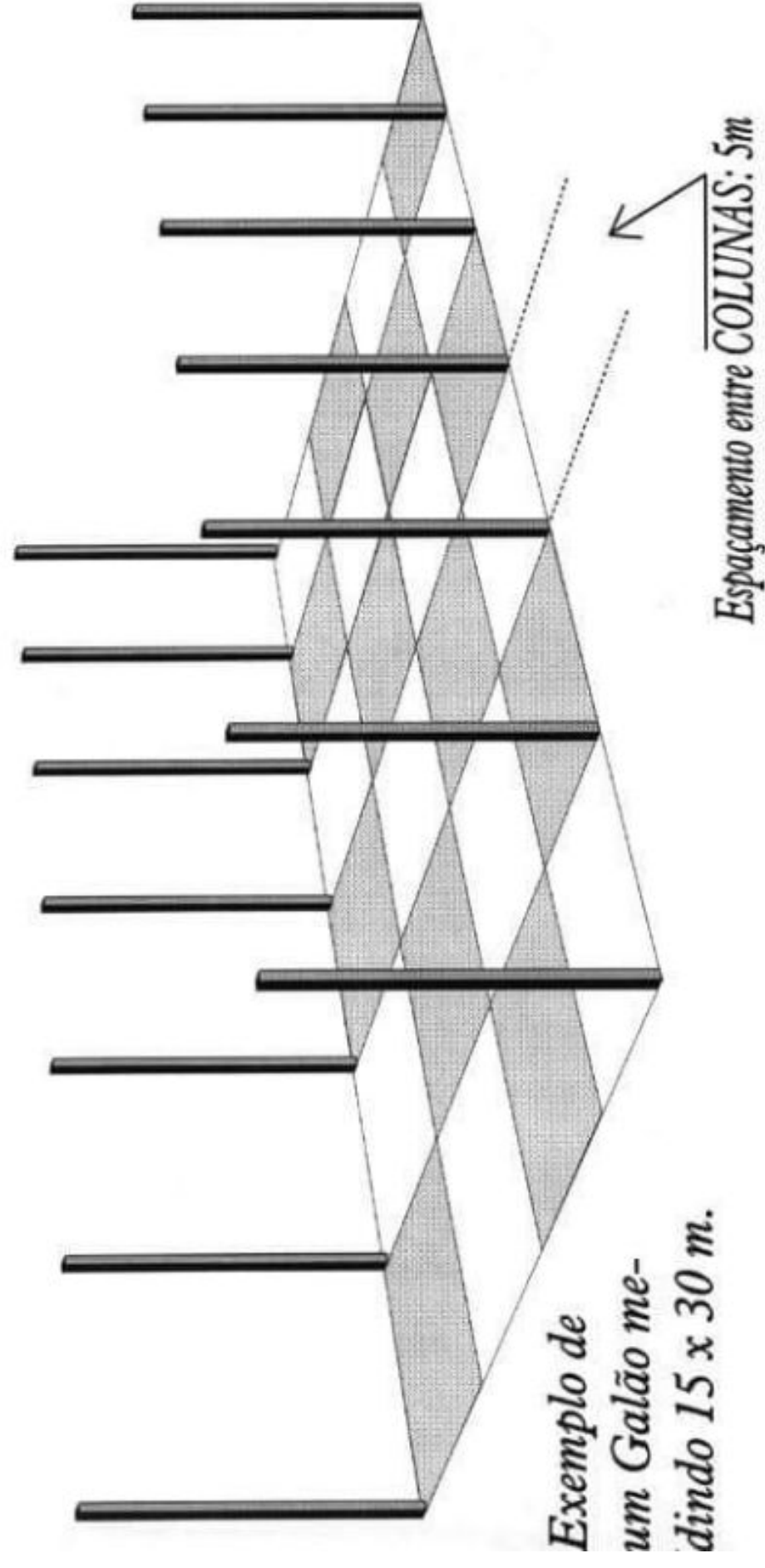
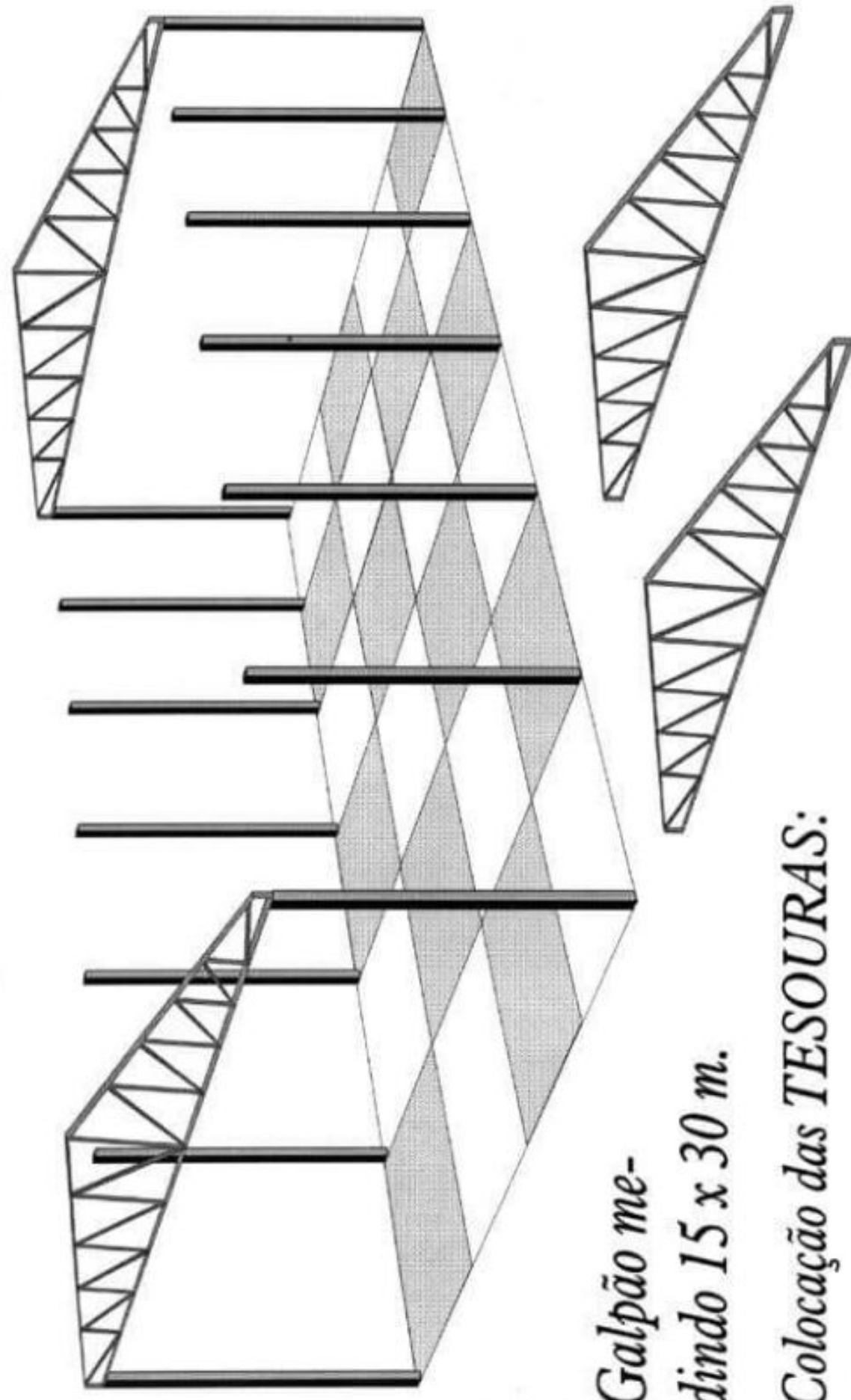
MODELO DE
ESTRUTURA METÁLICA
EM ARCO

Modelo de
Estrutura metálica
em shed com tesoura

PREDIO COM TELHADO EM DUAS ÁGUAS

ARCOS

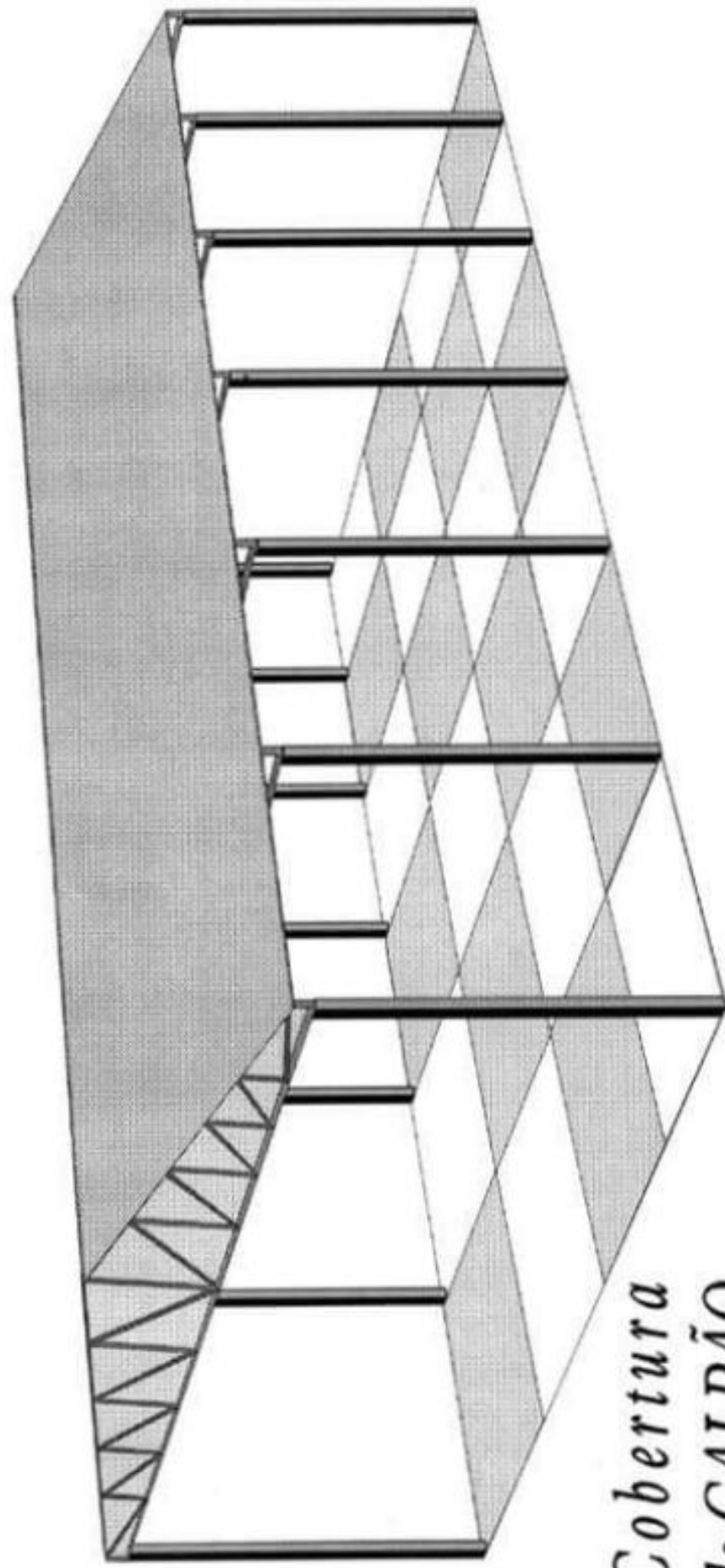
CONTRAVENTOS NO PLANO DAS TERÇAS

TERÇAS

TIRANTE

COLUNA

PREDIO COM TELHADO EM ARCO

Em Galpões pequenos e médios, o espaçamento entre COLUNAS deve ficar entre 4 e 6 metros.

Galpão medindo 15 x 30 m.

Colocação das TESOURAS:

Deve-se colocar a primeira e a última TESOURA, para, depois de alinhadas, nivelar as demais.

Cobertura do GALPÃO

Os principais tipos de TELHAS são fabricadas dos seguintes materiais: Aço galvanizado, que pode ser com ou sem pintura. Alumínio, também com ou sem pintura. Fibrocimento, seção ondulada e canaleta. PVC e Fibra de vidro, com as quais são feitas as TELHAS translúcidas (para iluminação natural) e ainda as TELHAS SANDUÍCHE, com função termo-acústica, proporcionando conforto com a redução de ruídos e altas temperaturas.

GALPÕES

Generalidades – Introdução

Galpões são construções geralmente de um pavimento, que têm por finalidade fechar e cobrir grandes áreas. Destinam-se a diversos fins, como fábricas, almoxarifados, feiras, estádios, hangares etc.

A área interna, quando a largura do galpão for grande, por exigências do fim a que se destina, pode ser livre de colunas ou ter filas de colunas.

Em projetos de galpões industriais, devem ser considerados os seguintes elementos:
- locação e dimensões dos equipamentos que serão abrigados;
- circulação;
- movimentação de cargas;
- iluminação;
- ventilação;
- condições e tipo de terreno, e
- calefação ou condicionamento de ar.

Outros elementos a serem considerados são a possibilidade de ampliações e modificações futuras, reforços devido a alteração de cargas, correção de recalques previstos etc.

A elaboração de projetos de galpões industriais exige, comumente, planejamento global cuidadoso, em função do elevado número de variáveis que a condicionam. Um projeto incompleto ou defeituoso leva a despesas futuras elevadas e a correções que só poderão ser parciais. Nos projetos complexos é importante conseguir a conjugação dos esforços dos diversos especialistas envolvidos. O engenheiro estrutural tem função muito importante na definição do sistema estrutural mais econômico.

Tipos de Galpões

Para facilidade de análise, os galpões, quanto à forma, podem ser agrupados em:
- pórticos simples;
- pórticos múltiplos;
- sheds.

Os sheds, devido a suas particularidades, serão considerados como um grupo, podendo a estrutura de suporte ser de vão simples ou de vãos múltiplos.

Pórticos Simples

Os quadros ou pórticos simples são empregados sempre que seja possível vencer o vão, economicamente, sem colunas intermediárias, ou por exigência do projeto.

A **figura 01** e a **foto 01** indicam seções transversais de pórticos simples.

Alguns dos exemplos são específicos para certas finalidades.

Os pórticos das **figuras 01a, 01b e 01c** são os mais empregados em galpões com finalidades industriais.

Os pórticos com balanços laterais da **figura 01d** são empregados em estações ferroviárias, os da **figura 01e**, em ginásios e feiras e os da **figura 01f**, em hangares.

Pórticos Múltiplos

Os pórticos múltiplos são empregados quando há grandes áreas a serem cobertas.

A figura 02 e a foto 02 apresentam alguns tipos de galpões com vãos múltiplos.

Os tipos mais empregados de pórticos múltiplos são os das **figuras 02a,b e c**, podendo ser feitas as mais diversas combinações, de acordo com as exigências do projeto. Não é necessáriamente obrigatório que os vãos e as alturas dos galpões sejam, respectivamente, iguais.

Os pórticos estaiados da **figura 02d** são utilizados quando se quer vencer grandes vãos. Ocorrem em feiras de exposições, hangares, ginásios para esportes etc.

Os galpões do tipo indicado na **figura 02e** são específicos para estações ferroviárias, correspondendo a parte central a plataformas cobertas.

Galpões com Cobertura em Shed

O shed é um tipo de galpão, cuja cobertura é constituída por uma face de iluminação, normalmente vertical, e outra de cobrimento, inclinada.

Nos países de clima tropical, é usual colocarem-se, nas faces verticais, lanternins com aberturas fixas para ventilação.

Nos países de maior latitude, é comum empregar-se a face de iluminação inclinada a 60° com a vertical. Consegue-se, com essa disposição, maior iluminação natural no interior do galpão. No Brasil, onde a culminação do Sol atinge 90°, tal disposição acarreta o inconveniente da incidência direta dos raios solares no interior do galpão. No Hemisfério Sul, para se evitar incidência direta dos raios solares, a face de iluminação deverá ser, preferencialmente, voltada para o Sul.

O shed da **figura 03c** melhora as condições de iluminação por reflexão, desde que a face curva seja pintada com cores claras.

As construções em shed apresentam várias características específicas. As **figuras** seguintes exemplificam os tipos de uso mais freqüente.

A figura 04 e a foto 03 representam o tipo mais simples de shed.

Cada dente corresponde, no sentido longitudinal, a um vão e cada shed se apóia em uma coluna.

Esse tipo de shed é empregado para pequenos vãos.

A figura 05 indica cobertura com sheds apoiados em tesoura longitudinal. Esse sistema é empregado quando se desejam grandes vãos livres longitudinais. A solução é econômica; exige, porém, projeto e execução bem elaborados, para a vedação do ponto onde a corda superior penetra o cobrimento. A corda superior deve receber tratamento especial, por estar diretamente exposta ao tempo.

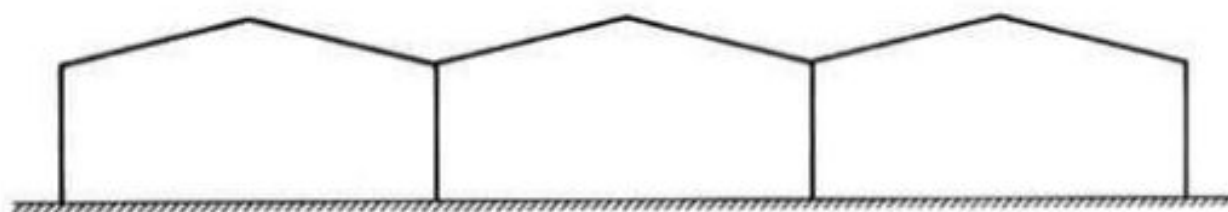
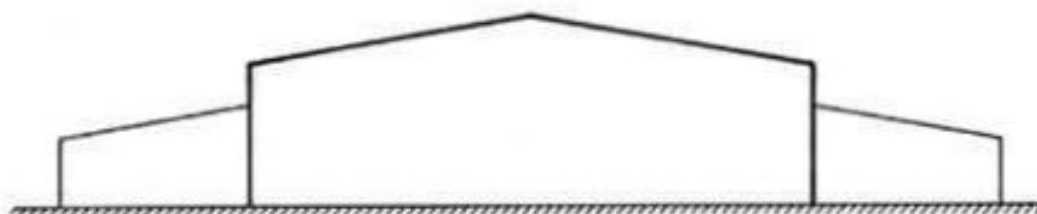
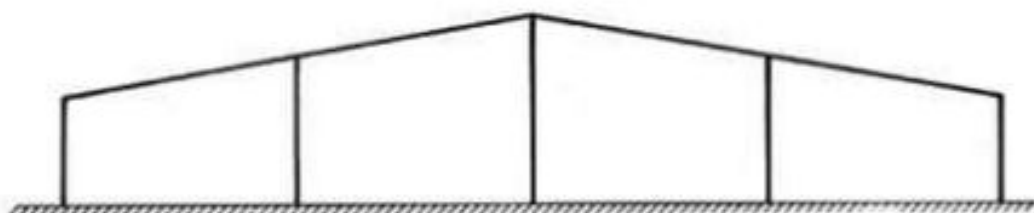
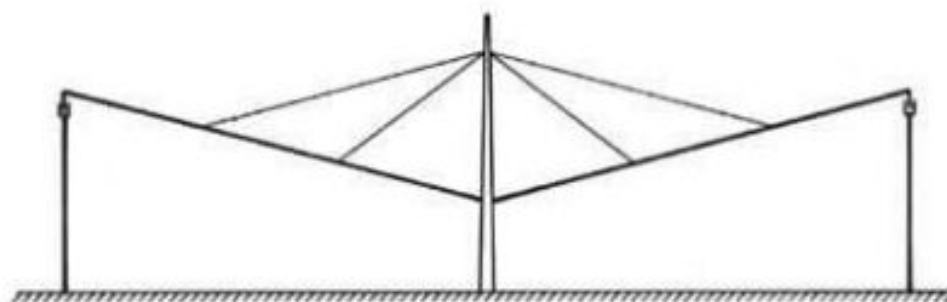
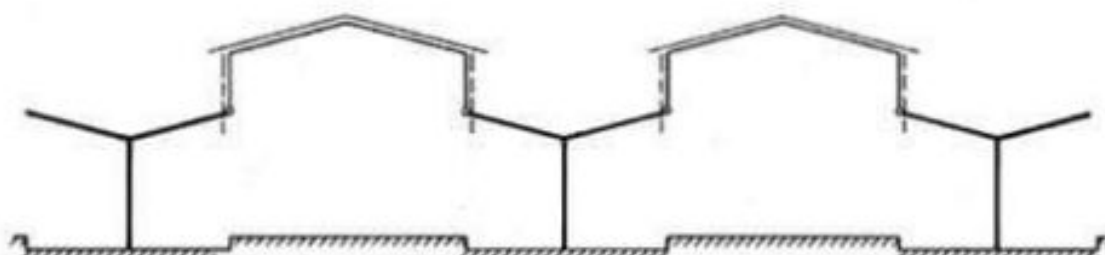
Figura 02 – **SEÇÕES TRANSVERSAIS DE PÓRTICOS MÚLTIPLOS**

a) Pórticos múltiplos de mesmo vão

b) Pórtico principal e anexos

c) Pórtico múltiplo em duas águas

d) Pórticos estaiados

e) Pórtico para estações ferroviárias

Fig. 03 - FORMAS BÁSICAS DE SHEDS

a)Shed com face vertical

b)Shed com face de iluminação a 60°

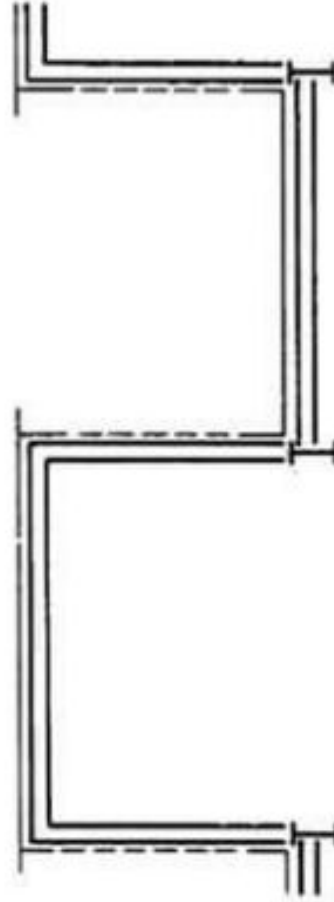
c)Shed curvo

d)Shed com dente reto

Figura 04 – **SHED SIMPLES SEM VIGA MESTRA**

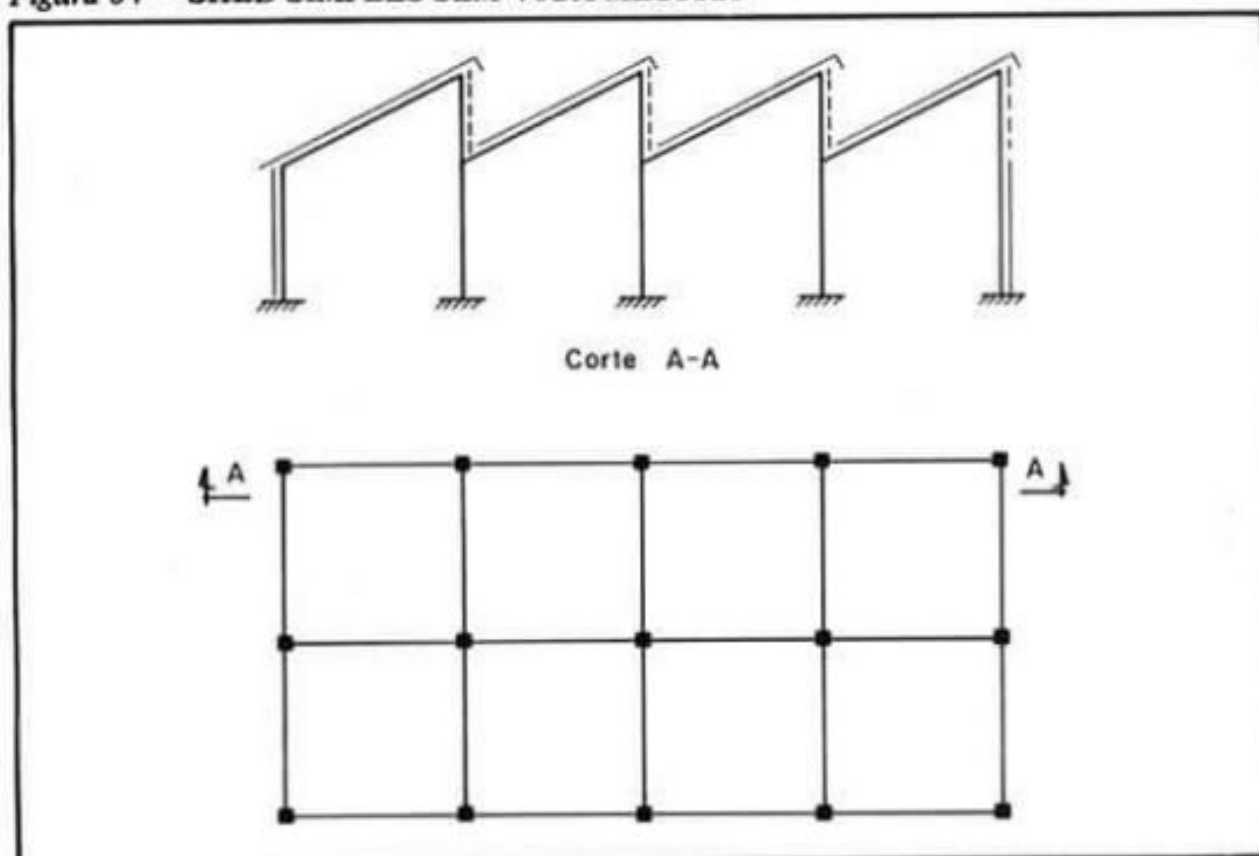



Figura 05 – **SHED COM TESOURA LONGITUDINAL**

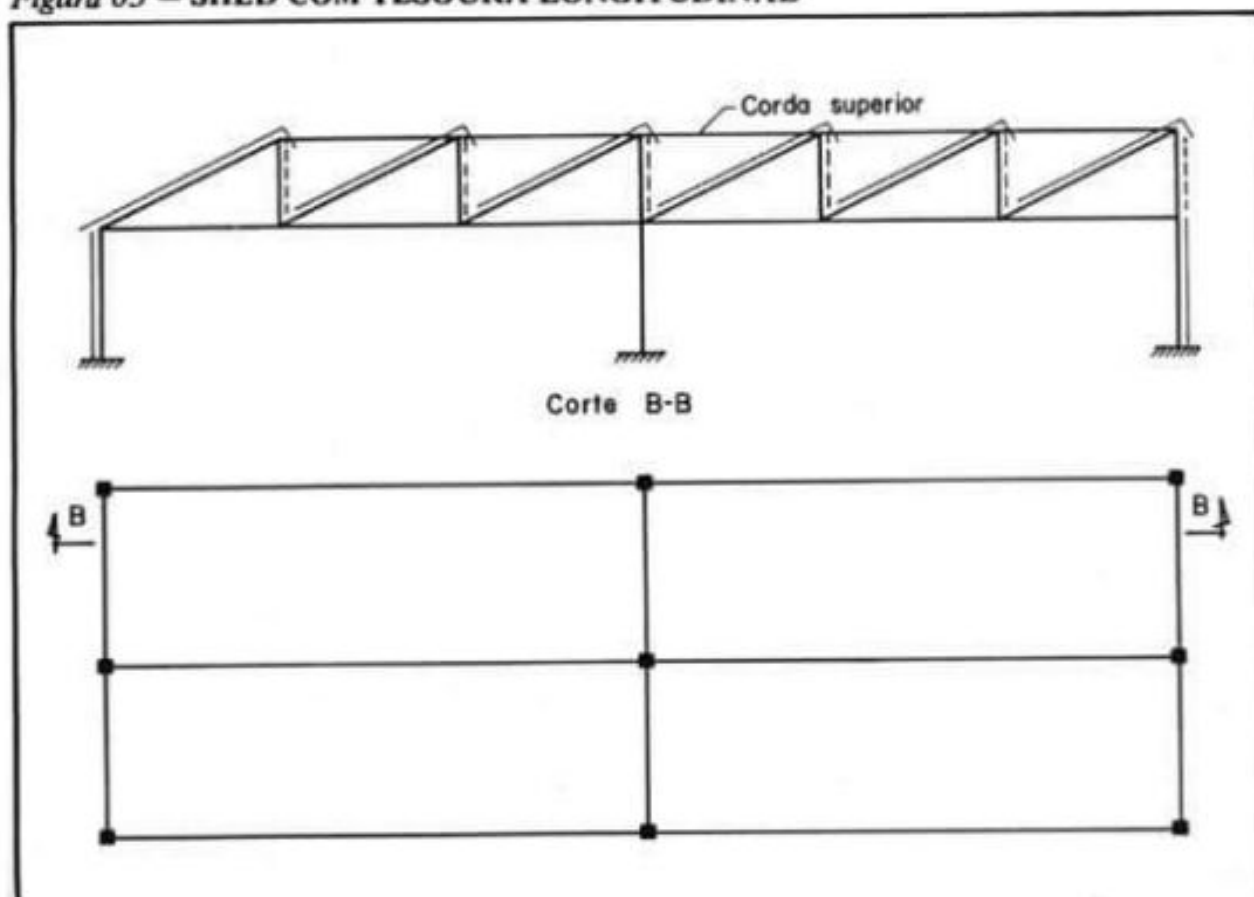



Figura 04 – **SHED SIMPLES SEM VIGA MESTRA**

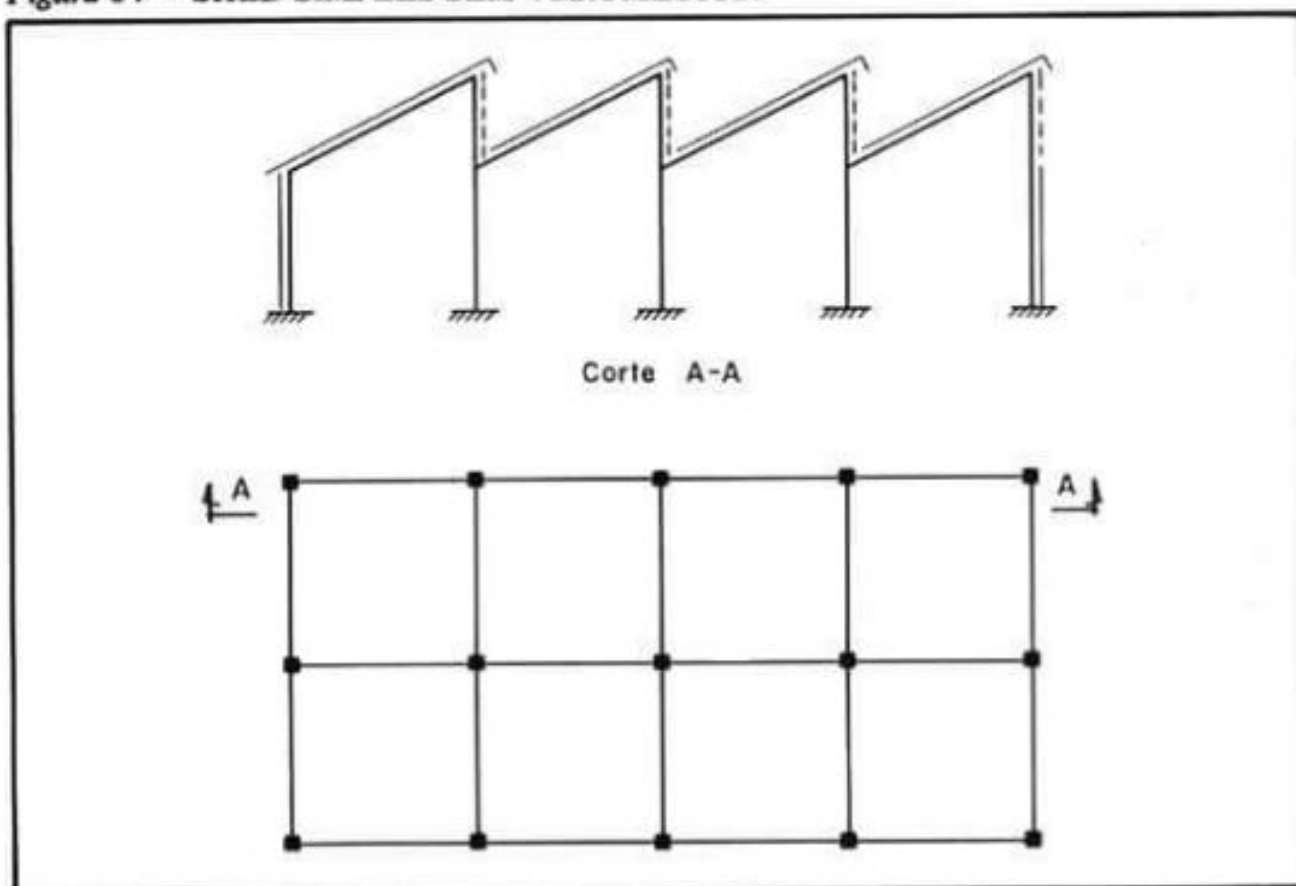
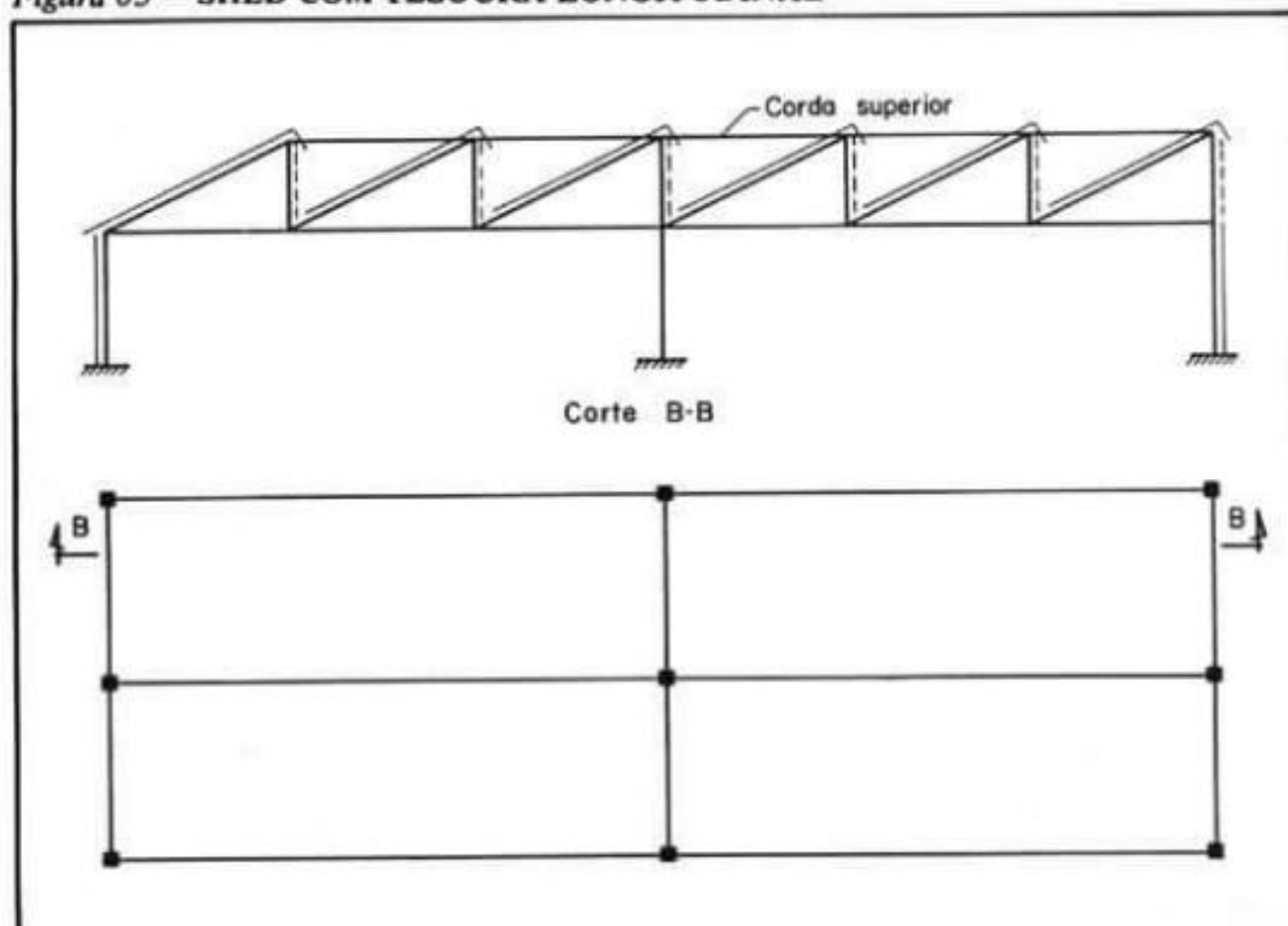



Figura 05 – **SHED COM TESOURA LONGITUDINAL**

A **figura 06** apresenta sistema de sheds apoiados em viga longitudinal, que pode ser de alma cheia ou treliçada.

Esse tipo de construção é empregado para as mesmas exigências da figura anterior.

A **figura 07** e a **foto 04** representam o sistema de maior emprego, que é o shed apoiado em viga mestra. Pode ser empregado em combinação com os tipos das **figuras 05** e **06** obtendo-se grandes vãos livres nas duas direções.

As vigas mestras podem ser de diferentes tipos estruturais, como mostra a **figura 08.** A redução de peças aparentes na faixa de iluminação visa minimizar sua influência na redução da iluminação natural e ao melhor aspecto estético.

A **figura 09** ilustra vários tipos de elementos estruturais dos sheds.

O shed da **figura 09a** é uma estrutura leve, porém, de difícil transporte e manuseio durante a montagem. É utilizado quando a treliça é toda aparafusada e montada no campo.

O shed da **figura 09b** reduz à metade a altura de transporte em relação à treliça da **figura 09a.** A barra que liga a parte inferior da treliça à coluna é separada para o transporte.

O shed da **figura 09c** é muito econômico. No caso de coberturas leves, há risco de compressão na corda inferior, provocada por sucção do vento que atua no cobrimento. Nesse caso, devem ser adotadas medidas para garantir a estabilidade dessa corda.

O shed da **figura 09d** pode apresentar o mesmo risco de compressão da corda inferior. A treliça, quando composta de cantoneiras, é empregada para grandes vãos. A treliça, com diagonais e corda inferior de barra redonda, é de baixo custo e empregada em estruturas leves.

O shed em alma cheia é o que apresenta o melhor aspecto estético entre os exemplos descritos. Quando utilizado como quadro contínuo, apoiado em viga mestra inferior, pode aliar a economia de peso à facilidade de fabricação, transporte, montagem e conservação.

A **figura 10** mostra detalhes de sheds desse tipo.

Sistemas Estáticos

Os quadros transversais de galpões podem apresentar os mais variados sistemas estruturais.

Nas **figuras 11 e 12,** são mostrados os tipos de uso mais corrente e dadas referências sobre seu emprego.

Galpões de Vão Único

O quadro hipostático é utilizado como estrutura intermediária, quando a distância entre os pórticos principais é muito grande e o vão das terças e travessas de tapamento as torna anti-econômicas. A estabilidade lateral é obtida por vigas ou contraventamentos no plano de cobertura, apoiados nos quadros principais. Tal quadro é também empregado em estruturas altas e de pequena seção em planta, onde a estabilidade é obtida por contraventamentos nas fachadas frontais e contraventamentos longitudinais na cobertura. (ver **figura 11**)

Figura 06 – **SHED COM VIGA LONGITUDINAL**

Fig. 06 – SHED COM VIGA LONGITUDINAL

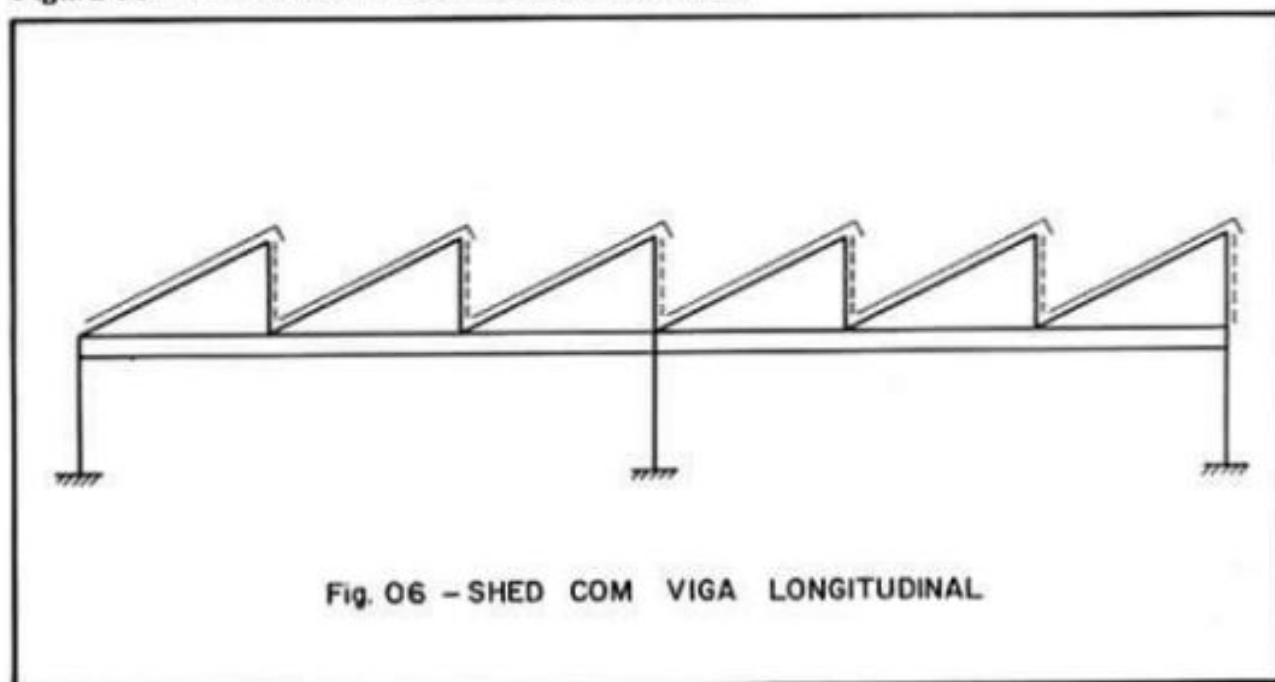



Figura 07 – **SHED COM VIGA MESTRA**

Viga mestra

Corte B-B

Corte A-A

A

B

B

A

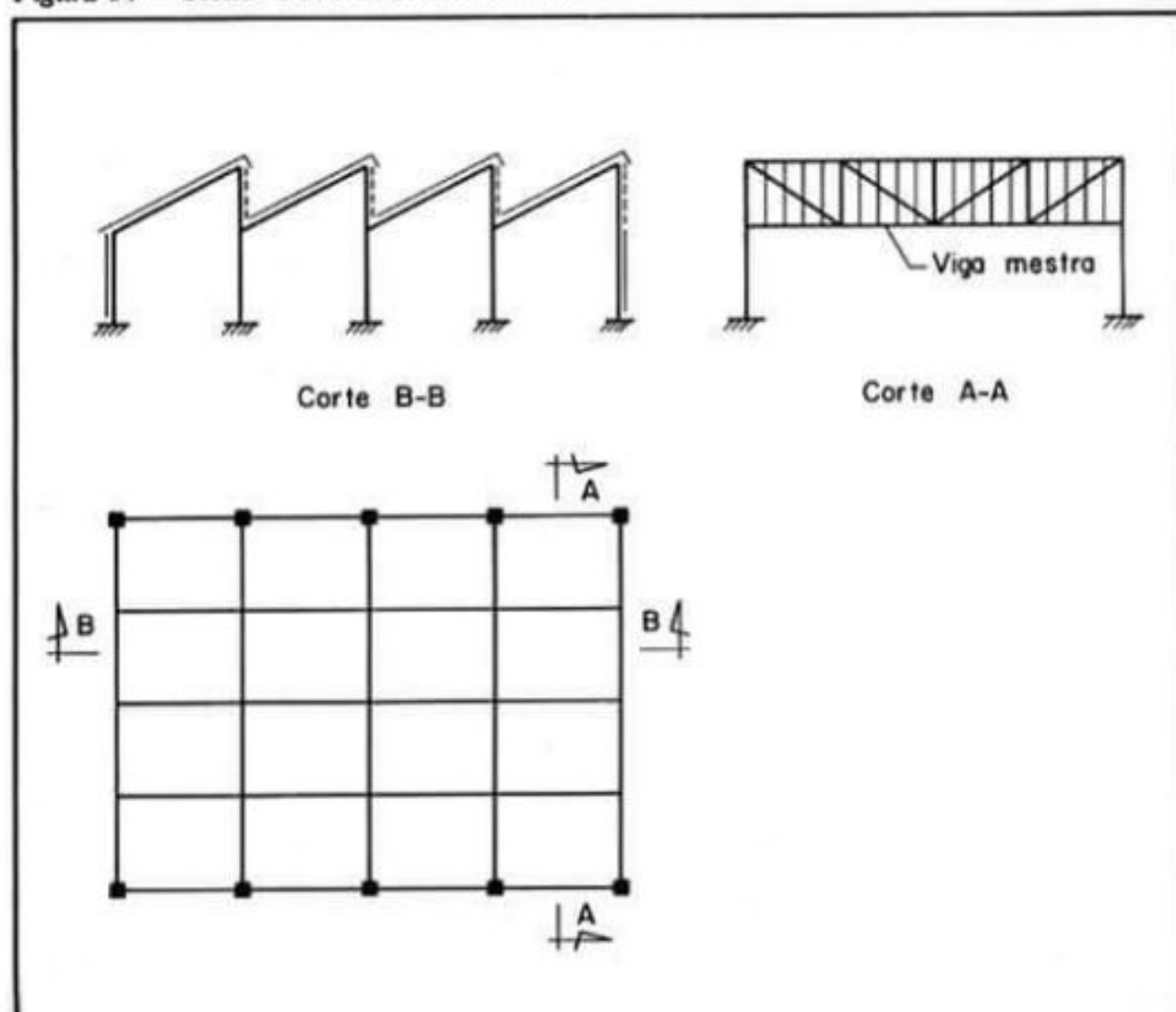
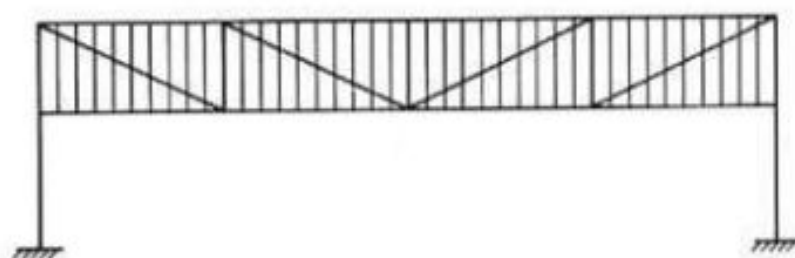
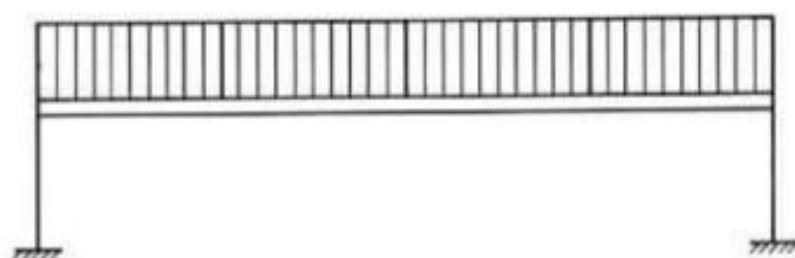
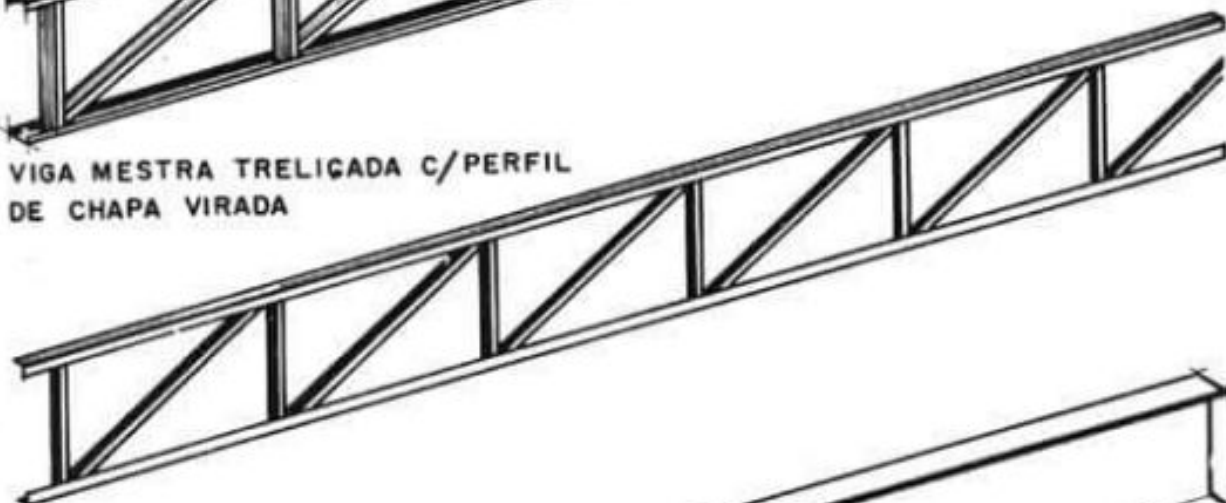



Figura 08 – **TIPOS DE VIGAS MESTRAS**

VIGA MESTRA
COLUNA
VIGA MESTRA
VIGA MESTRA TRELIÇADA C/PERFIL DE CHAPA VIRADA
VIGA MESTRA TRELIÇADA DE FERRO CANTONEIRA
VIGA MESTRA DE ALMA CHEIA

DETALHES DA COBERTURA

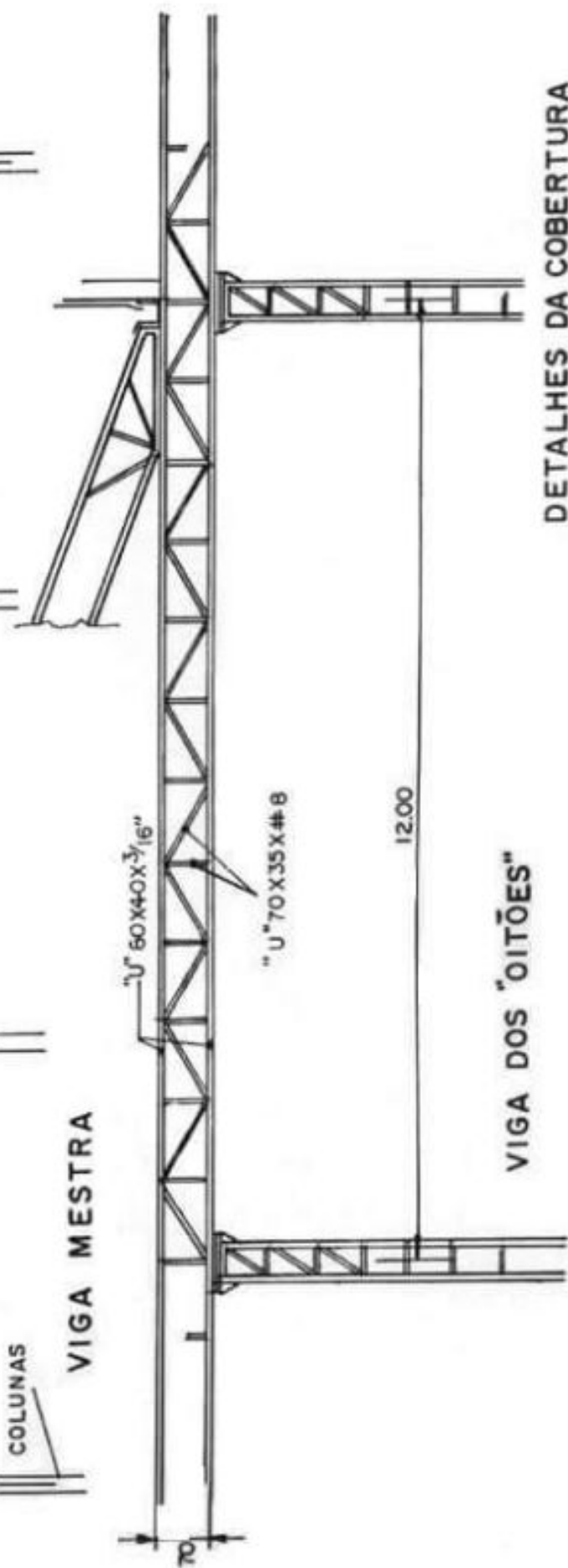
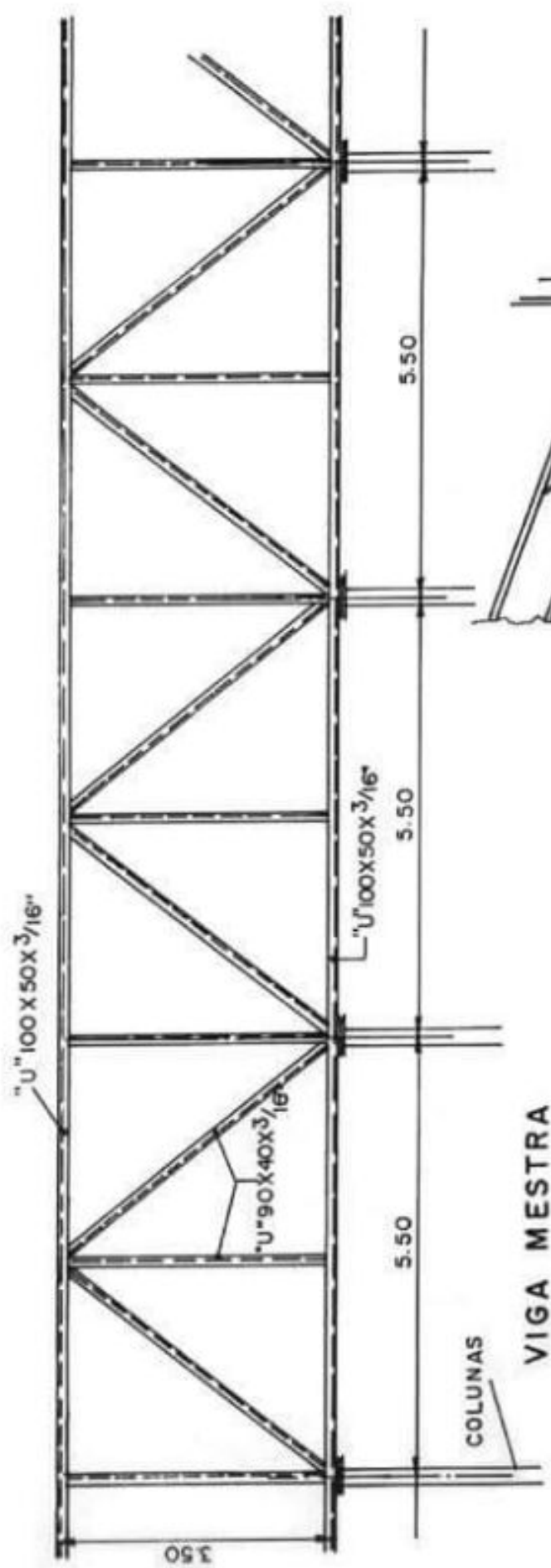



Figura 09 – **TIPOS DE ESTRUTURAS DE SHEDS**

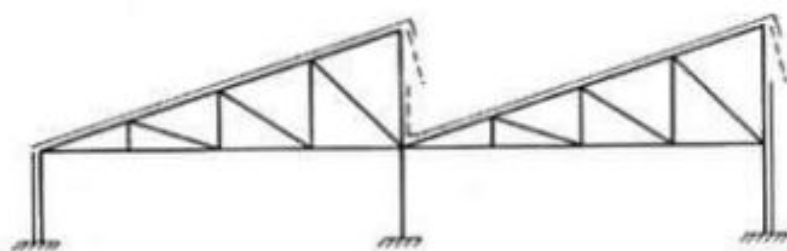
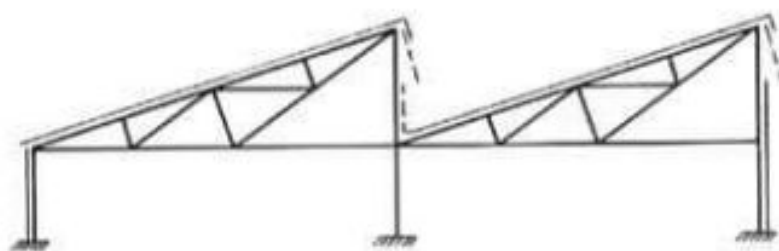
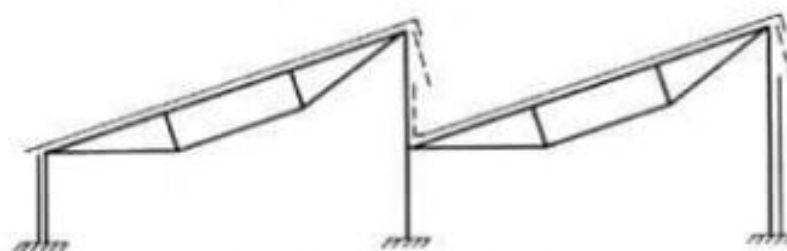
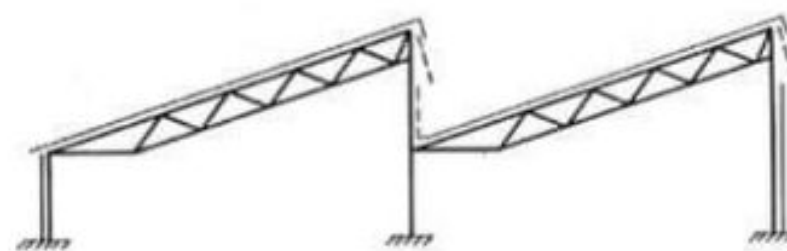
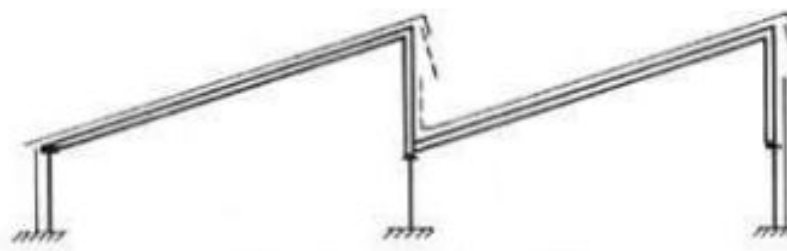



Figura 10 – **DETALHE DE SHED EM QUADRO CONTÍNUO**

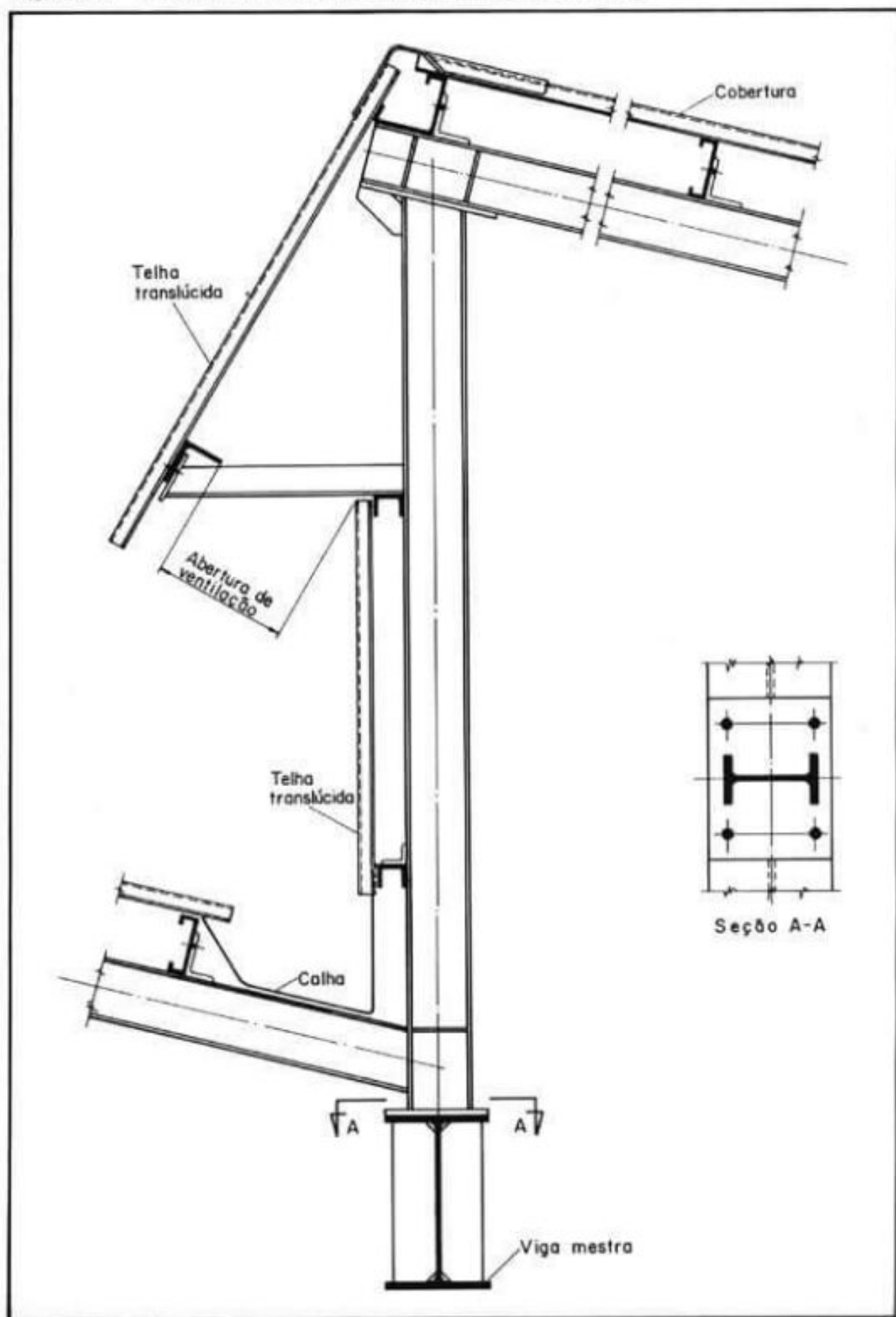



Figura 11 – **ESTRUTURAS HIPOSTÁTICAS**

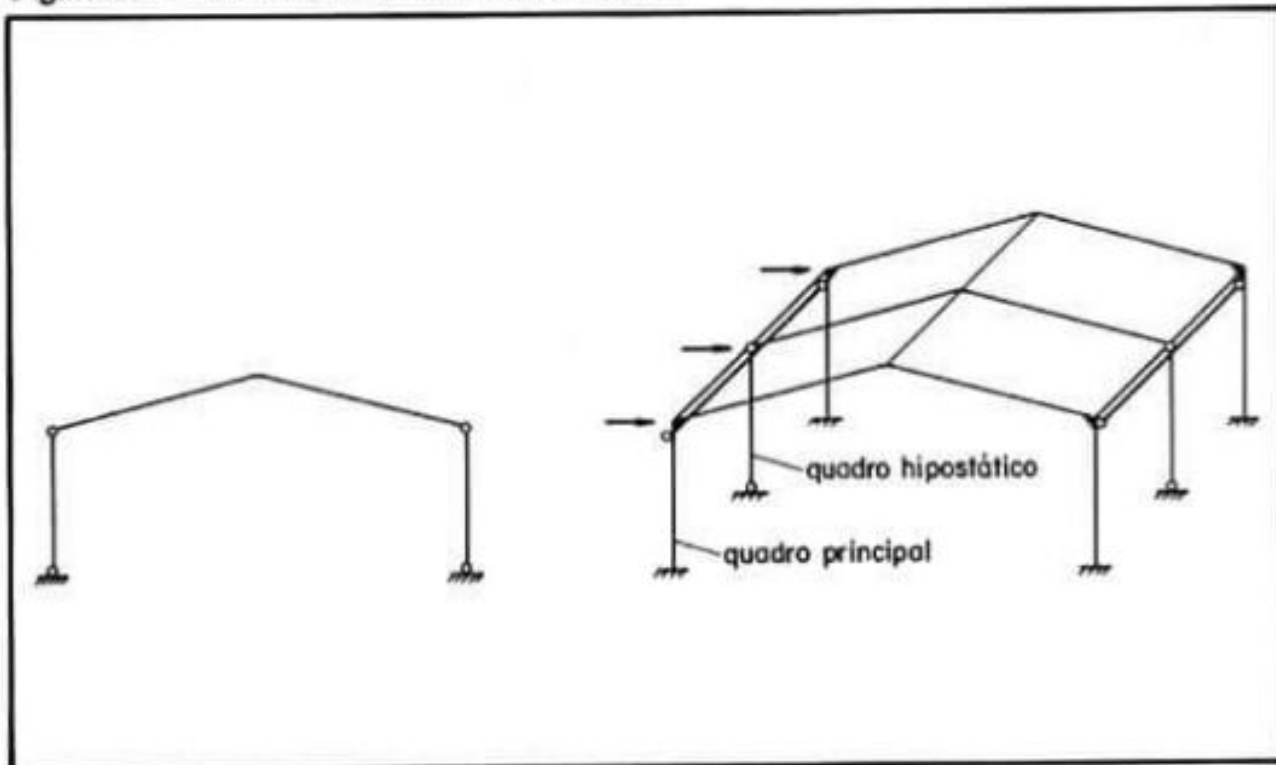



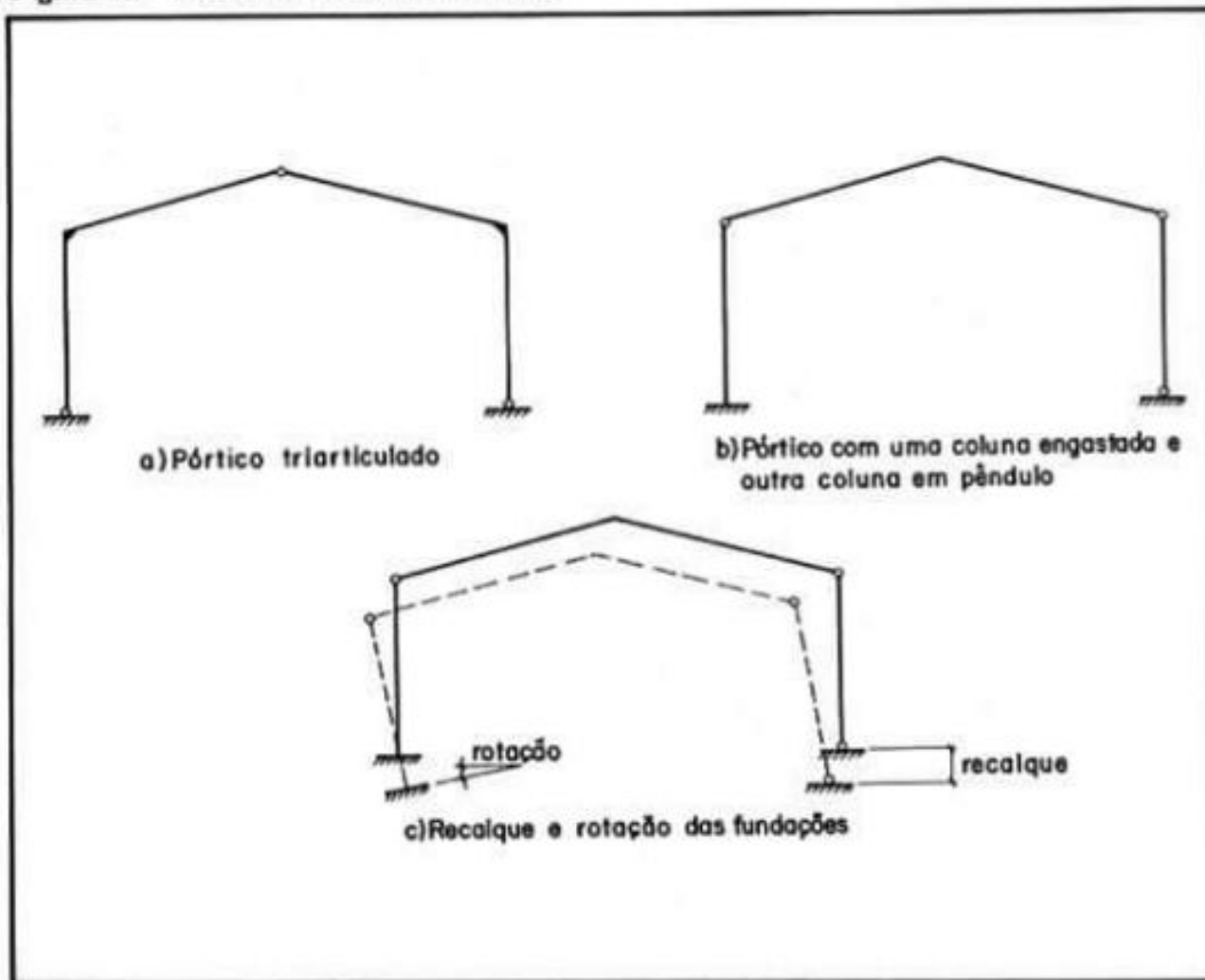
Figura 12 – **SISTEMAS ISOSTÁTICOS**

a) Pórtico triarticulado

b) Pórtico com uma coluna engastada e outra coluna em pêndulo

rotação

recalque

c) Recalque e rotação das fundações

Empregam-se estruturas isostáticas quando são previstos futuros recalques diferenciais acentuados ou rotações das fundações.

A **figura 12c** mostra um galpão isostático que sofreu recalque e rotação, onde se verifica que a geometria das peças permanece inalterada.

O sistema de pórticos birrotulados é utilizado para obtenção de economia nas fundações, quando se defronta com terrenos de baixa taxa admissível. Nos galpões com pontes rolantes, esse sistema acarreta, em contrapartida, tesouras pesadas. **(Figura 13).**

Quando.as condições do terreno são boas, o melhor sistema estático é representado pelo quadro engastado na base, que conduz ao melhor aproveitamento do material e a maior facilidade de montagem.

A **figura 14** mostra dois dos sistemas mais empregados de colunas engastadas na base.

Quando ocorrem problemas de fundações ou dificuldades de execução em uma das colunas, pode-se tornar econômico o emprego de sistemas com colunas rotuladas e engastadas. A **figura 15** indica dois desses sistemas.

Quando o vão da tesoura é muito grande, é econômico o emprego de tesoura com tirantes para se obter melhor aproveitamento de material. A **figura 16** representa sistema com tesouras atirantadas.

Galpões de Vãos Múltiplos

Para pórticos de vãos múltiplos é usual a repetição dos pórticos das **figuras 12a, 13, 14,** formando pórtico múltiplo, ou a combinação de tipos diferentes.

A **figura 17** representa alguns dos sistemas de pórticos múltiplos mais empregados.

O emprego de sistemas isostáticos da **figura 17a,** com colunas rotuladas ou engastadas na base e rotuladas no topo, seguem os mesmos critérios dos pórticos de vão único.

No caso de boas condições de fundação, são empregados sistemas com elevado grau de hiperestaticidade, como o das **figuras 17d** ou **17e,** por causa dos aspectos econômicos envolvidos, visto que os sistemas hiperestáticos permitem um melhor aproveitamento do material.

Embora tais sistemas envolvam cálculos extensos e complexos, as facilidades de processamento oferecidas pelos modernos computadores praticamente eliminam tais dificuldades.

Contraventamento de Galpões

No projeto e cálculo dos galpões é necessária a adoção de medidas que garantam a estabilidade espacial, inclusive durante a montagem. Normalmente, a estabilidade longitudinal é conseguida através de contraventamentos no plano da cobertura e das paredes laterais.

A **figura 18** representa um galpão simples, com indicação dos contraventamentos estabilizadores. Nas **figuras 18d** e **18e,** em linhas tracejadas, estão representadas as peças que não recebem esforços devido às cargas indicadas e que correspondem, no caso,

Figura 13 – **PÓRTICOS BIRROTULADOS**

Figura 14 – **PÓRTICOS COM COLUNAS ENGASTADAS NAS BASES**

Figura 15 – **PÓRTICOS COM UMA COLUNA ENGASTADA E A OUTRA ROTULADA NA BASE**

a) Sem ponte rolante

b) Com ponte rolante

a) Com tesouras bi-rotuladas

b) Com tesouras engastadas nas colunas

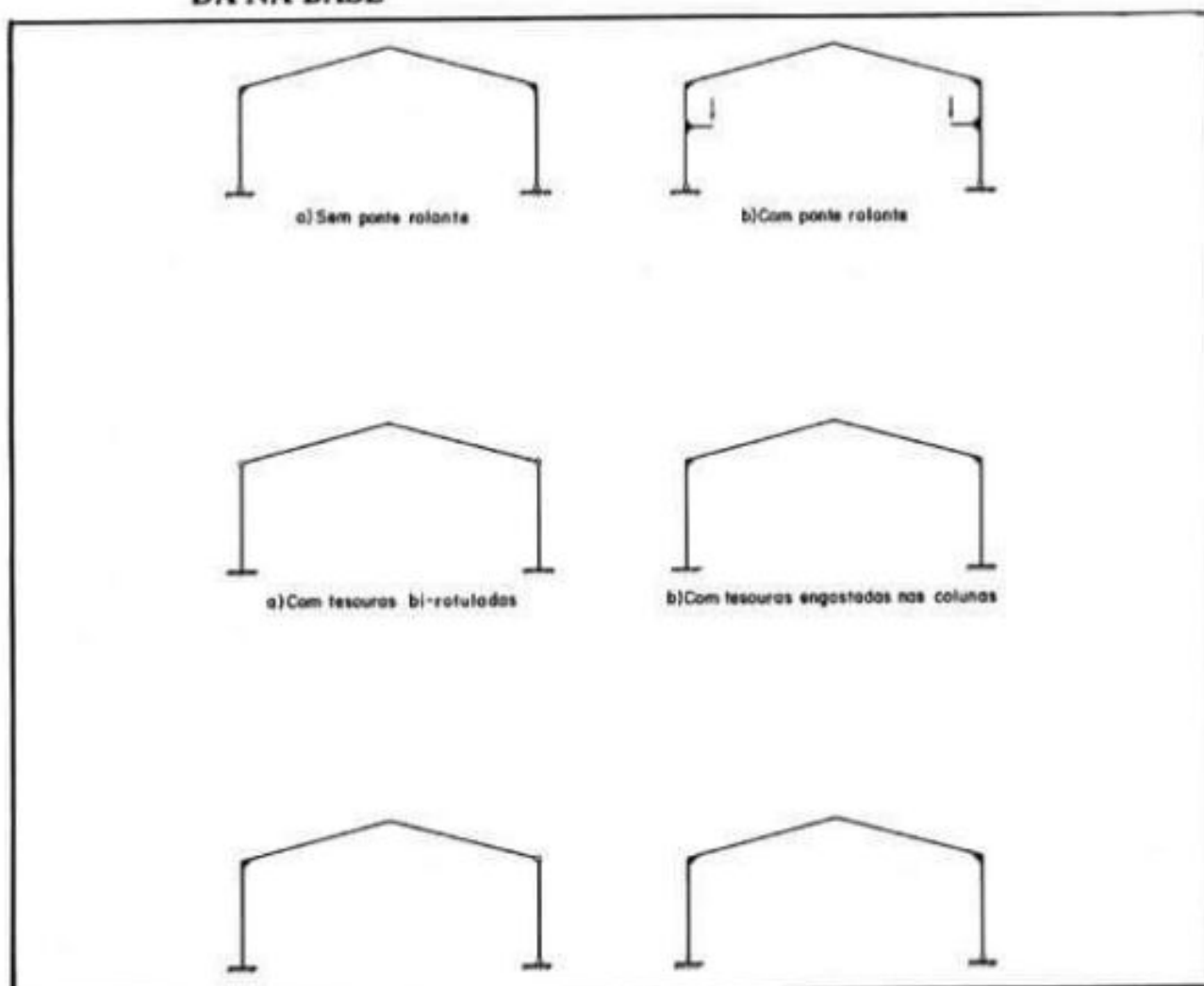



Figura 16 – **TESOURA ATIRANTADA**

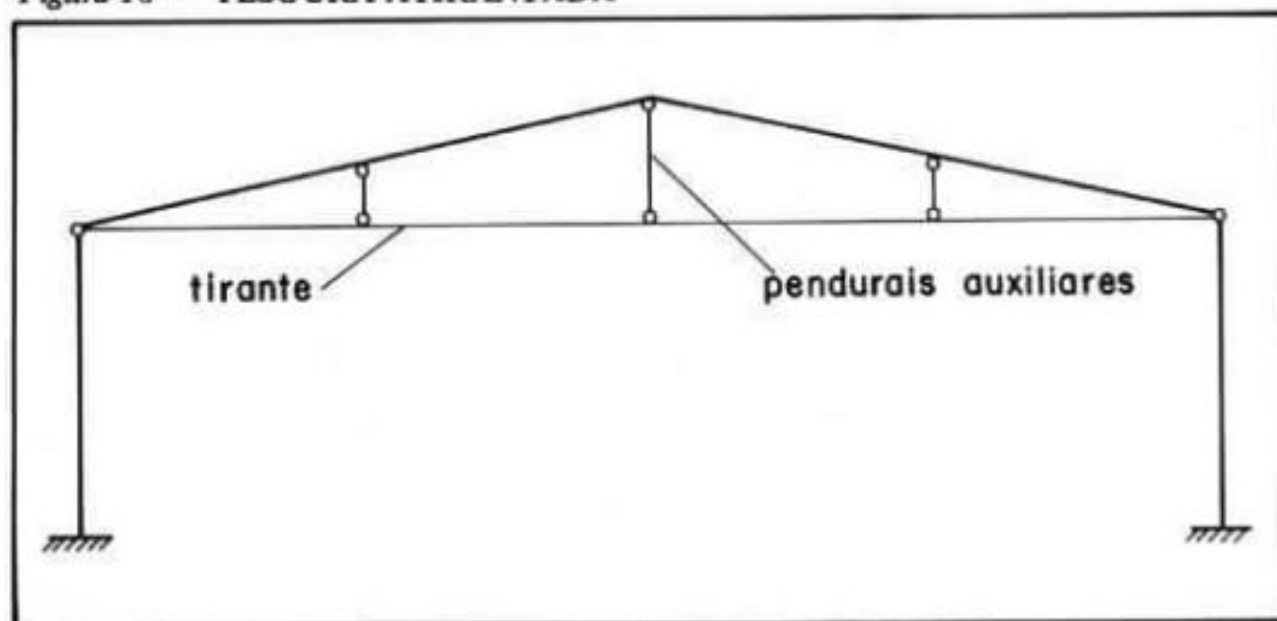
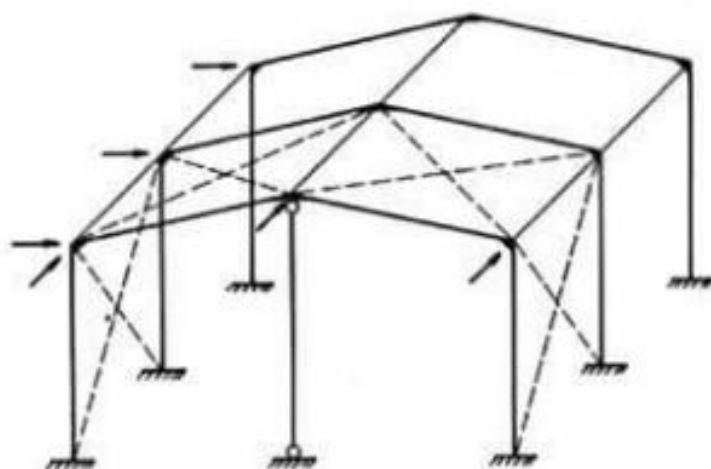
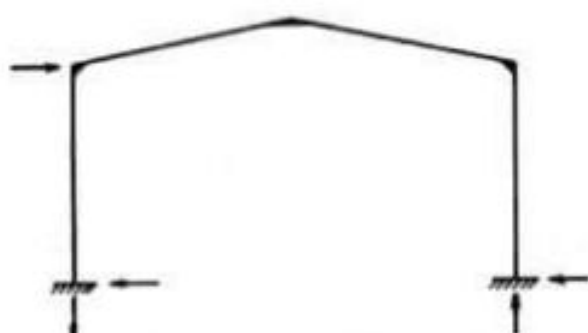
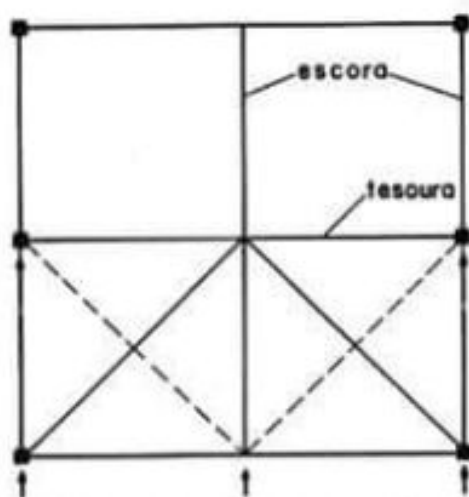
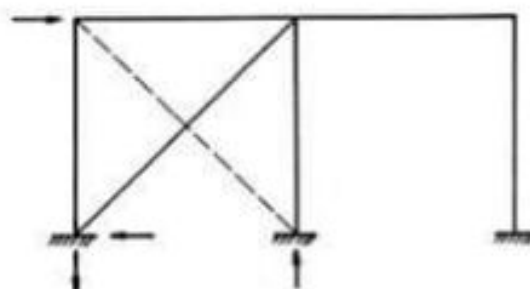



Figura 17 – **PÓRTICOS DE VÃOS MÚLTIPLOS**

Figura 18 – **ESQUEMA DE UM GALPÃO COM CONTRAVENTAMENTO PARA ESTABILIDADE ESPACIAL**

a) Representação isométrica de galpão com contraventamento

b) Quadro tranversal intermediário

c) Quadro da fachada com coluna de tapamento

d) Contraventamento da cobertura

e) Contraventamento longitudinal

a carregamentos resultantes da pressão do vento sobre as fachadas. Tais peças passam a trabalhar na ocorrência de sucção.

Também nas estruturas treliçadas, o contraventamento fica sempre no plano da cobertura e das paredes, sendo que, nos galpões com pontes rolantes pesadas, é colocado contraventamento no plano vertical, abaixo das vigas de rolamento, para levar as cargas longitudinais das pontes até as fundações.

A **figura 19** mostra um galpão treliçado com ponte rolante, estando indicados, em linhas tracejadas, os contraventamentos no plano das terças, tapamento lateral e abaixo da viga de rolamento.

As forças devidas ao vento nas fachadas laterais e outras cargas horizontais, são transferidas pelas colunas ou quadros transversais às fundações.

As forças longitudinais de vento e frenagem de pontes rolantes são transferidas às fundações através dos contraventamentos longitudinais no plano das paredes externas **(Figura 20)**.

Teoricamente, o contraventamento no primeiro vão seria suficiente para transferir os esforços acima mencionados. Entretanto, para facilidade de montagem, empregam-se contraventamentos nos extremos e a cada quinto ou sexto vãos.

O contraventamento em "X" é o mais econômico, porém inadequado quando há necessidade de aberturas nas fachadas. Havendo previsão de passagem no vão contraventado, empregam-se outros tipos, como os treliçados – representados nas **figuras 20b**, **20c** e **foto 05** ou em quadro de alma cheia – representado na **figura 20d**.

Os esforços transversais transmitidos pela ponte rolante nem sempre podem ser economicamente absorvidos pela viga de rolamento; nesse caso, emprega-se contraventamento horizontal no plano da aba superior da viga **(Figura 21)**.

Exemplos de Galpões

São vários os tipos e formas de galpões encontrados na prática. São descritos a seguir alguns exemplos de galpões industriais, com esclarecimentos sobre algumas de suas características específicas.

Oficina de Reparos (Galpão para Serviços Leves)

A **figura 22** representa um galpão simples, sem pontes rolantes, de uma oficina de reparos de freios de vagões ferroviários.

Na **figura 22a** é mostrado o plano da cobertura, com a indicação dos contraventamentos, nos painéis junto às fachadas frontais. As diagonais do contraventamento na cobertura principal trabalham somente para as forças de tração. Para cargas devidas à pressão do vento, trabalha o painel adjacente à fachada; para cargas devidas à sucção, trabalha o painel da outra extremidade do galpão.

O corte representado na **figura 22b** mostra os dois contraventamentos longitudinais em forma de pórtico treliçado. Foi adotada a solução em pórticos, devido à existência de aberturas nas fachadas laterais, o que impediu a solução do contraventamento em "X",

Figura 19 – **CONTRAVENTAMENTO DE GALPÃO TRELIÇADO COM PONTES ROLANTES**

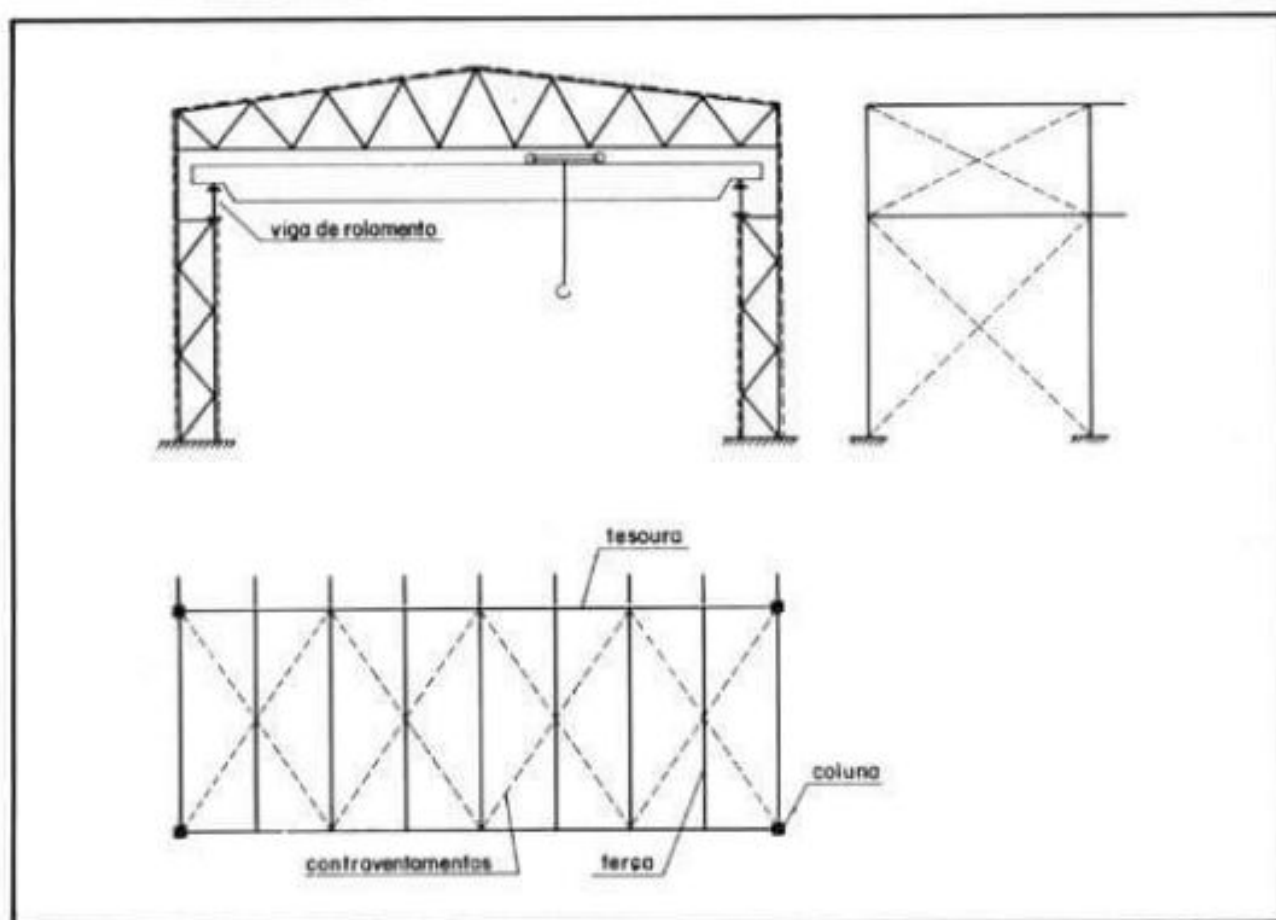



Figura 21 – **CONTRAVENTAMENTO HORIZONTAL DE VIGA DE ROLAMENTO**

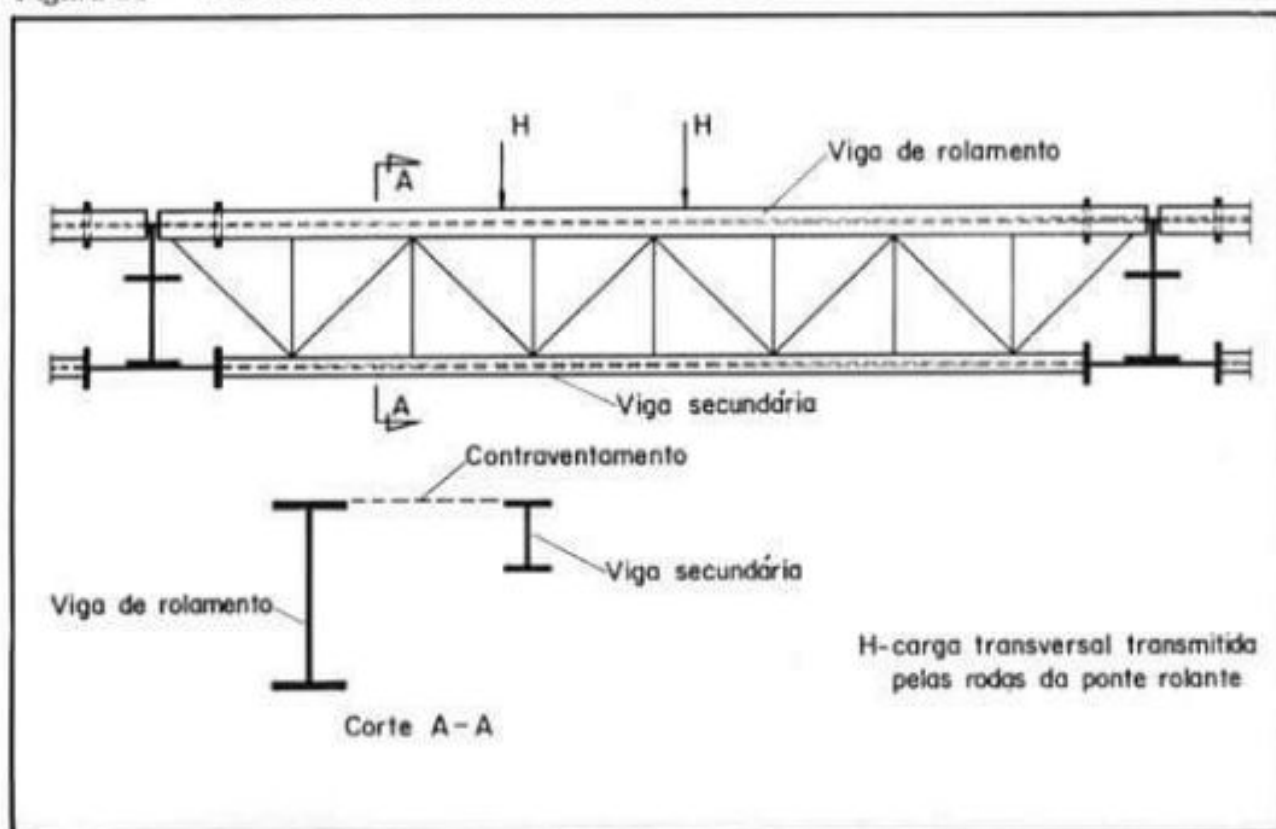



Figura 20 – **CONTRAVENTAMENTOS LONGITUDINAIS**

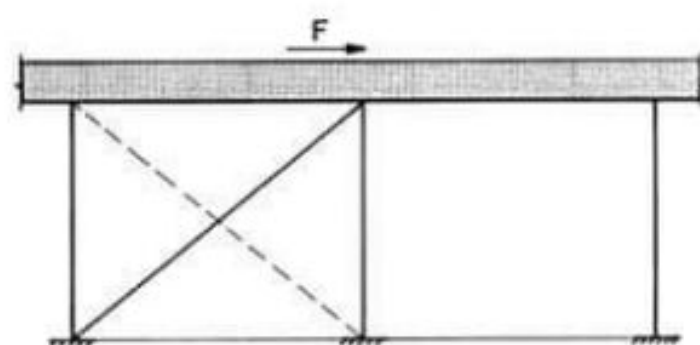
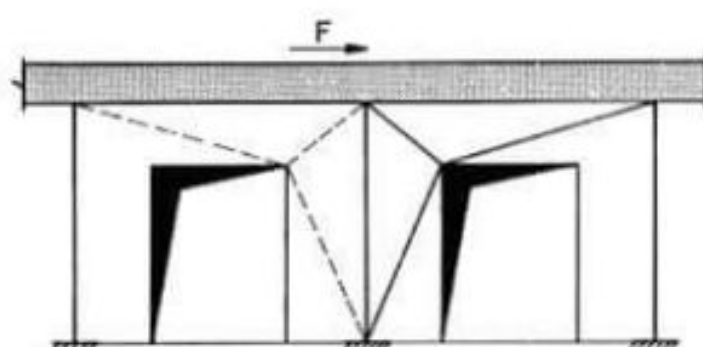
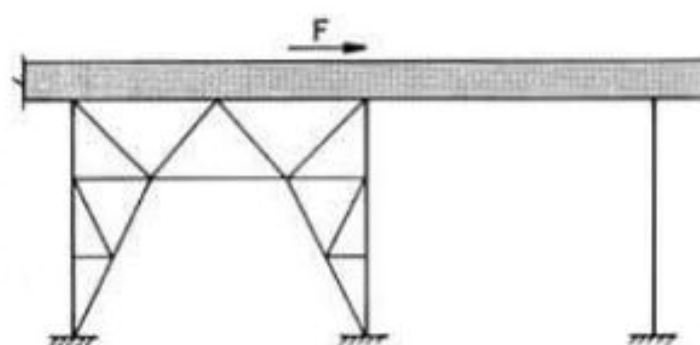
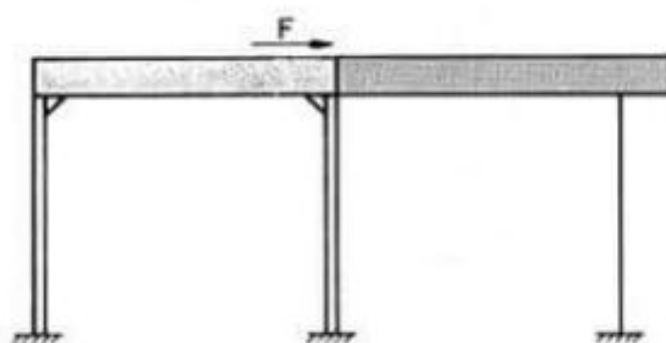
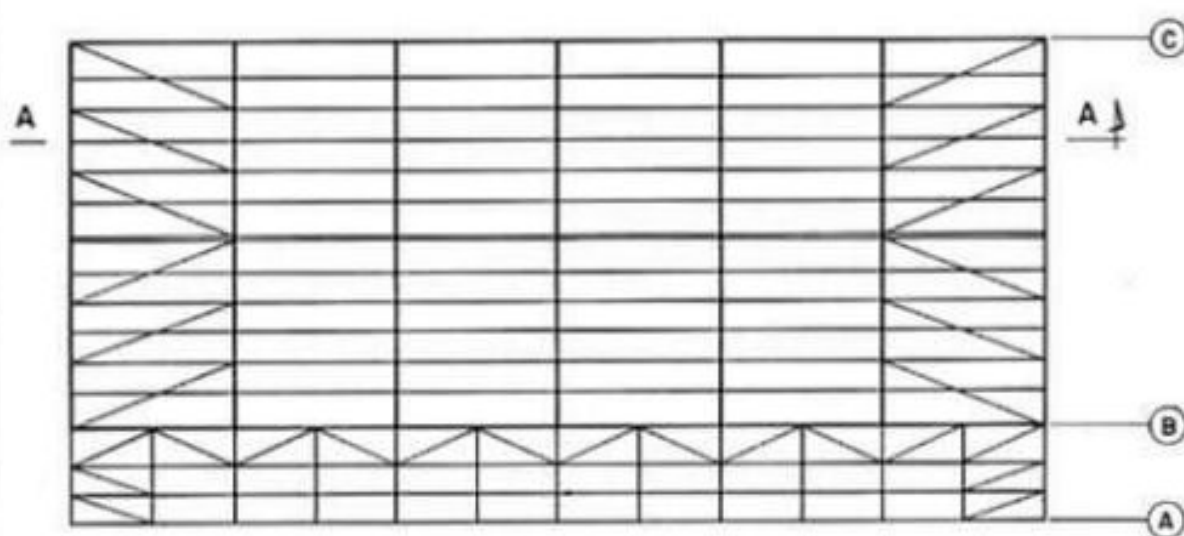
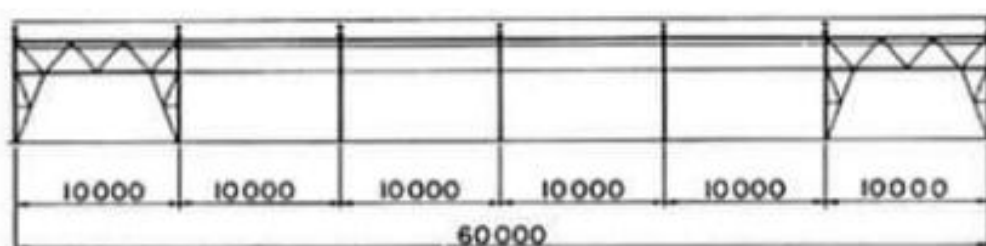
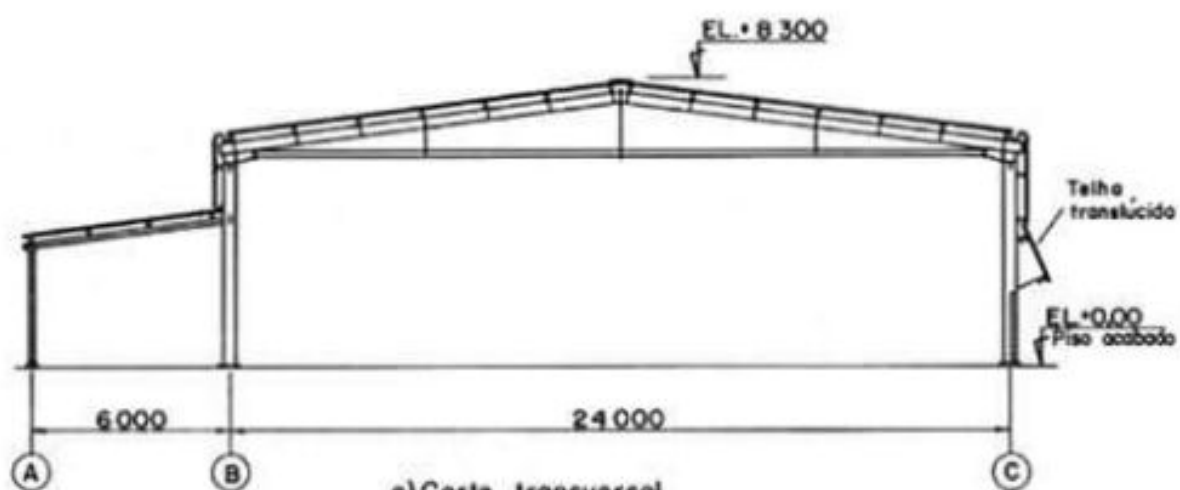



Figura 22 – **GALPÃO PARA OFICINA DE REPAROS**

O sistema estrutural principal, indicado no corte transversal, **figura 22c**, consta de um pórtico biengastado em perfil de alma cheia, com tesoura atirantada. Foram empregadas tesouras com mão francesa para garantir sua estabilidade lateral e economia de peso nas terças.

O galpão anexo é um pórtico triarticulado em perfil laminado a quente.

Não há exigências especiais de ventilação e iluminação.

Instalação para Britagem de Minério de Ferro (Galpão de Manutenção)

O edifício da **figura 23** é uma estrutura em pórticos biengastado de perfis de alma cheia com consolos para apoio da viga de rolamento.

A ponte rolante é de pequena capacidade: 10 t.

Foi adotada a telha de alumínio trapezoidal para cobertura e tapamento.

A junta de dilatação da estrutura metálica é decorrente da junta de dilatação do concreto.

A viga de rolamento é biapoiada e também em viga de alma cheia soldada.

Para estabilidade foram adotados contraventamentos em "X" **(Figura 23b)**.

A **foto 06** fornece visão geral da estrutura.

Termelétrica

A **foto 07** mostra a montagem do galpão de uma termelétrica.

A construção associa elementos em alma cheia, como colunas principais e vigas de rolamento, com elementos em treliça, como tesouras e contraventamentos.

Galpão da Laminação de Placas a Quente (Galpão para Serviços Pesados)

No vão coberto e no pátio funcionam pontes rolantes de grande capacidade e um semipórtico **(Figura 24)**.

O espaçamento entre colunas é de 10 metros.

As vigas de rolamento, com altura de 2,4 metros, são executadas em perfis de alma cheia, com seção especial para evitar problemas de fadiga. O contraventamento horizontal das vigas de rolamento é feito de chapa e serve ao mesmo tempo de passadiço para manutenção.

O pórtico indicado na **figura 24** é um quadro biengastado, constituído de uma tesoura atirantada em perfil soldado e colunas com parte superior em alma cheia e inferior em treliça.

Para ventilação foram projetados um lanternim longitudinal simples e tomadas de ar na parte lateral inferior.

Como o espaçamento entre pórticos principais é grande, foram previstas colunas intermediárias e tesouras secundárias apoiadas em vigas longitudinais nos beirais e na cumeeira.

Laminação de Chapas (Galpão para Serviços Pesados)

O edifício mostrado na **foto 08** é um galpão metálico em treliça, com exceção das vigas de rolamento e da parte superior das colunas. A parte inferior das colunas é um sistema misto: alma cheia e viga Vierendeel.

Figura 23 – **GALPÃO PARA BRITAGEM**

a) Corte transversal

b) Vista lateral

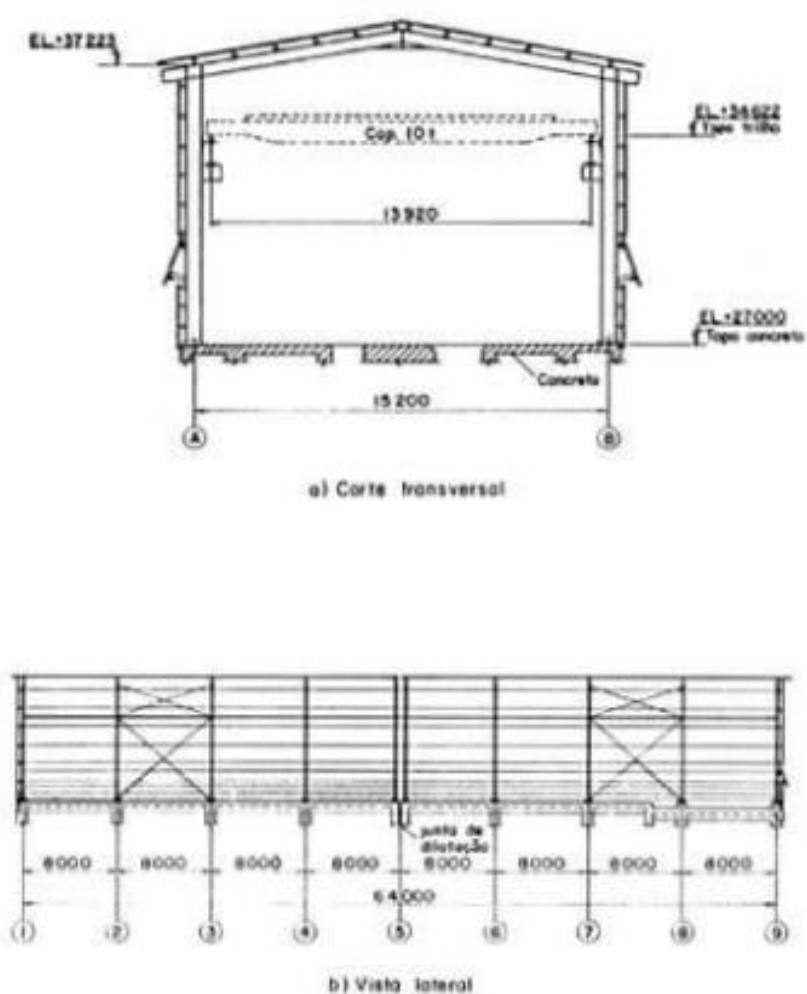



Figura 24 – **GALPÃO PARA LAMINAÇÃO DE PLACAS**

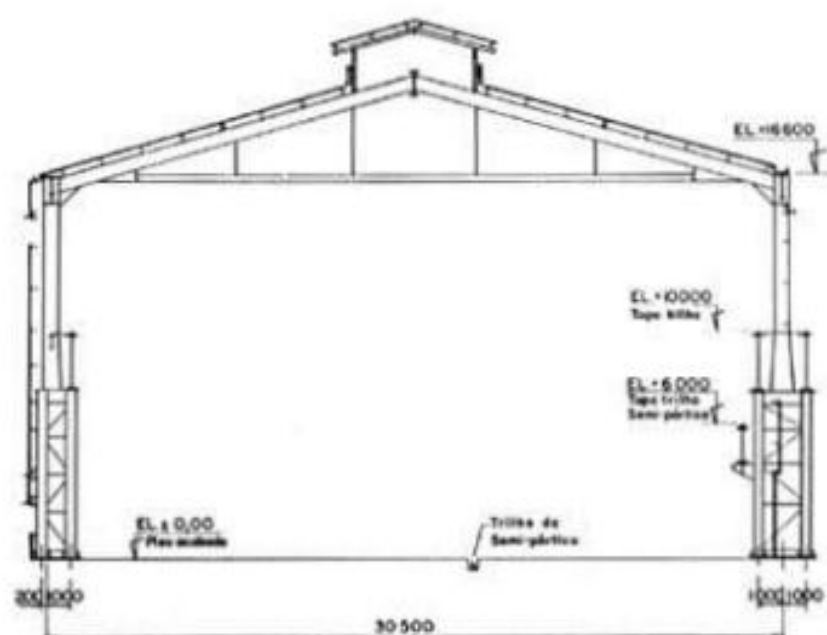
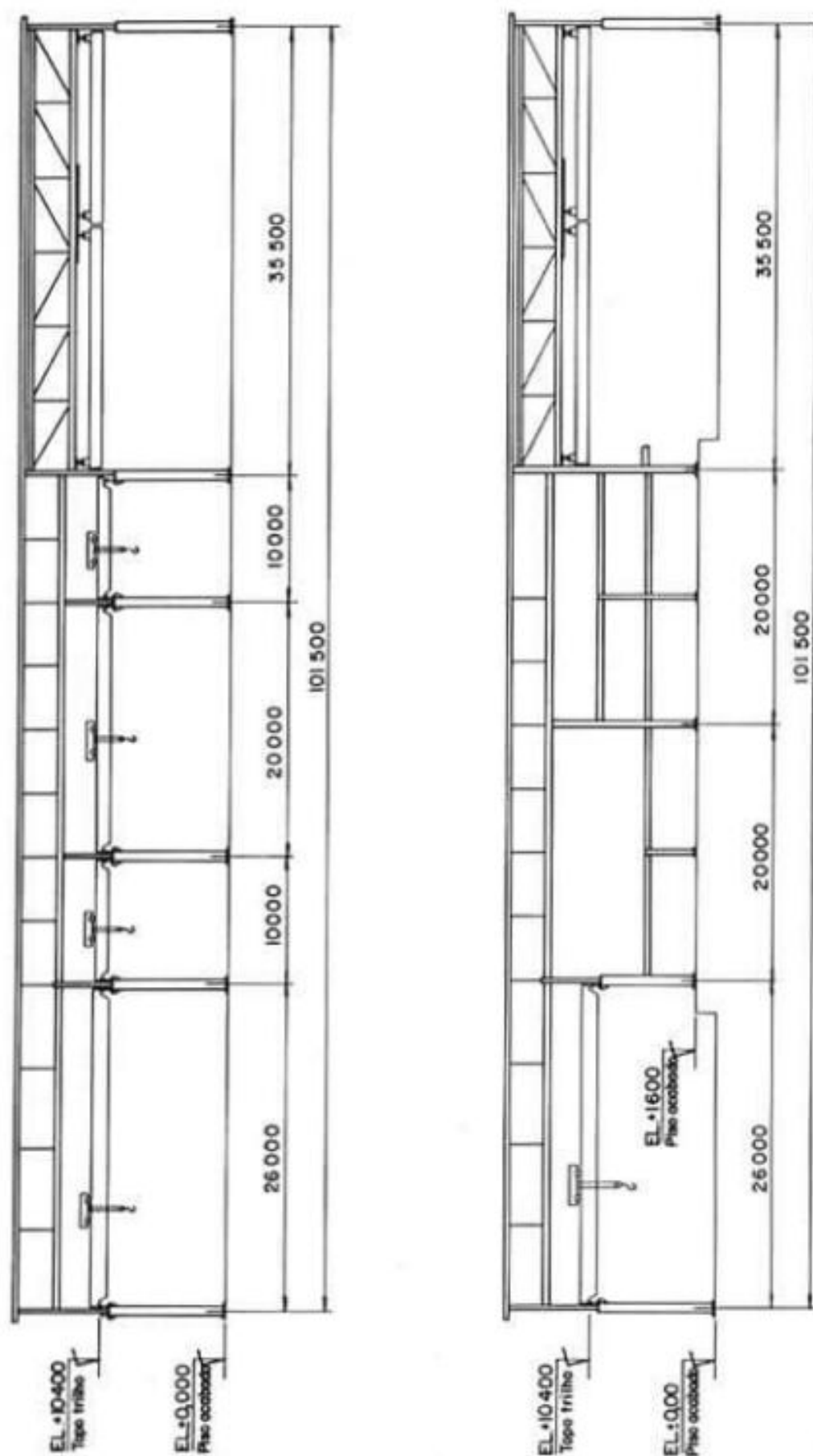



Figura 25 – **GALPÃO PARA OFICINA DE MANUTENÇÃO DE LOCOMOTIVAS**

Ligações de montagem são rebitadas, possuindo, o galpão, lanternim especial de ventilação natural.

Oficinas de Locomotivas (Galpão para Serviços de Manutenção)

O conjunto de estruturas das oficinas de manutenção de locomotivas consta do galpão da Oficina Diesel (**Figura 25**) e dos galpões das Instalações de Abastecimento, limpeza de peças e oficina de componentes. Os galpões, com exceção do das instalações de abastecimento, têm a cobertura em shed (**Foto 09**).

Por falta de perfis laminados adequados à época da fabricação, a maior parte dos perfis é soldada e de alma cheia.

Em função do seu pequeno peso, os galpões poderiam ter sido projetados quase que exclusivamente em perfis de faces paralelas (**Foto 10**).

As terças de cobertura e as travessas de tapamento são executadas em perfis "U", com abas reforçadas e do tipo cartola, laminados a frio.

Os sheds foram calculados como quadros contínuos com apoios elásticos nas vigas mestras.

As vigas mestras, projetadas em perfil de alma cheia, são situadas abaixo da faixa de iluminação e fazem parte do quadro rígido, composto de vigas e colunas engastadas na base.

Na Oficina Diesel, para o vão maior, de 35,5m, com pontes suspensas de 10 t de capacidade, a tesoura foi projetada em treliça, por motivos econômicos (**Foto 11**).

Usina de Concentração de Minério

A estrutura indicada na **figura 26** e na **foto 12** é o galpão principal de uma Usina de Concentração de Minério de Ferro. Consta do edifício principal, britagens, peneiramento e oficinas de manutenção em estruturas metálicas.

O edifício principal é uma estrutura complexa, com pontes rolantes apoiadas e suspensas, com capacidade de 3 a 45 t.

Alguns pisos estão sujeitos a grandes cargas dinâmicas, com problemas especiais de vibração devido às peneiras de classificação do minério.

Optou-se pela cobertura em shed porque o piso mais extenso, na cota + 12.500, poderá beneficiar-se da iluminação natural.

Fábrica de Estruturas e Caldeiraria (Galpão para Serviços Pesados)

A fábrica de estruturas e caldeiraria da USIMEC foi projetada para ocupar área aproximada de 100.000m^2 (**Foto 13**).

A liberdade de projeto da estrutura metálica permitiu o estudo econômico do espaçamento longitudinal entre colunas e forma estética e funcional para cobertura. O espaçamento entre colunas é de 16,0 metros. A cobertura em shed de dente reto permite boa e bem distribuída iluminação natural (**Foto 14**).

A ventilação do galpão foi projetada com tomada de ar na parte inferior entre a parede de alvenaria e o tapamento, e a saída de ar nas faces verticais do shed. Na execução da obra foram fechadas as tomadas de ar, o que acarretou problemas de ventilação, tornando necessárias medidas especiais para sua correção.

Figura 26 – **EDIFÍCIO COM COBERTURA EM SHED PARA USINA DE CONCENTRAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO**

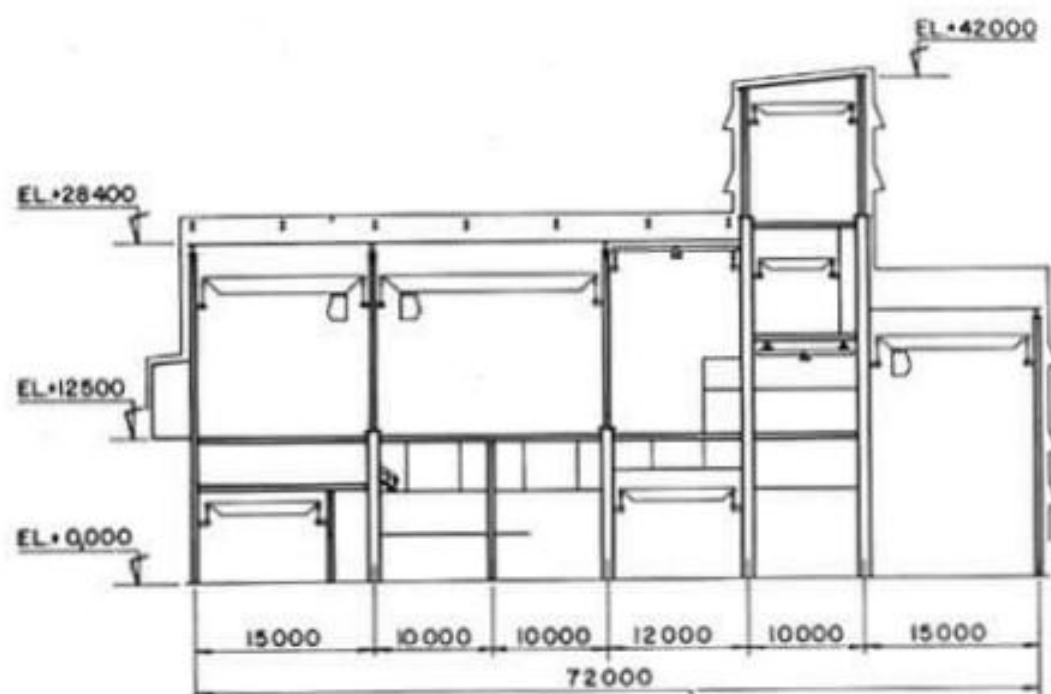
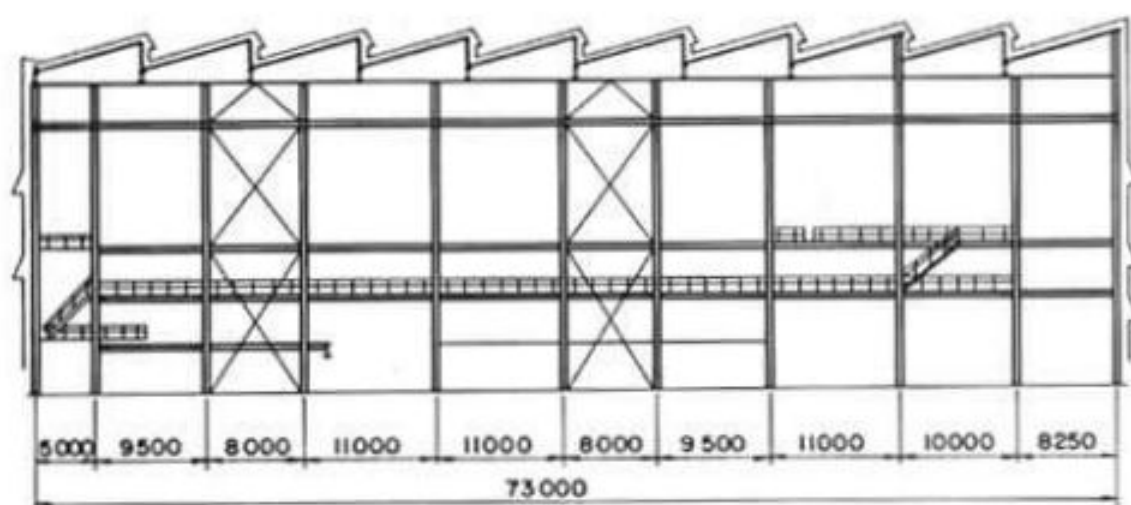
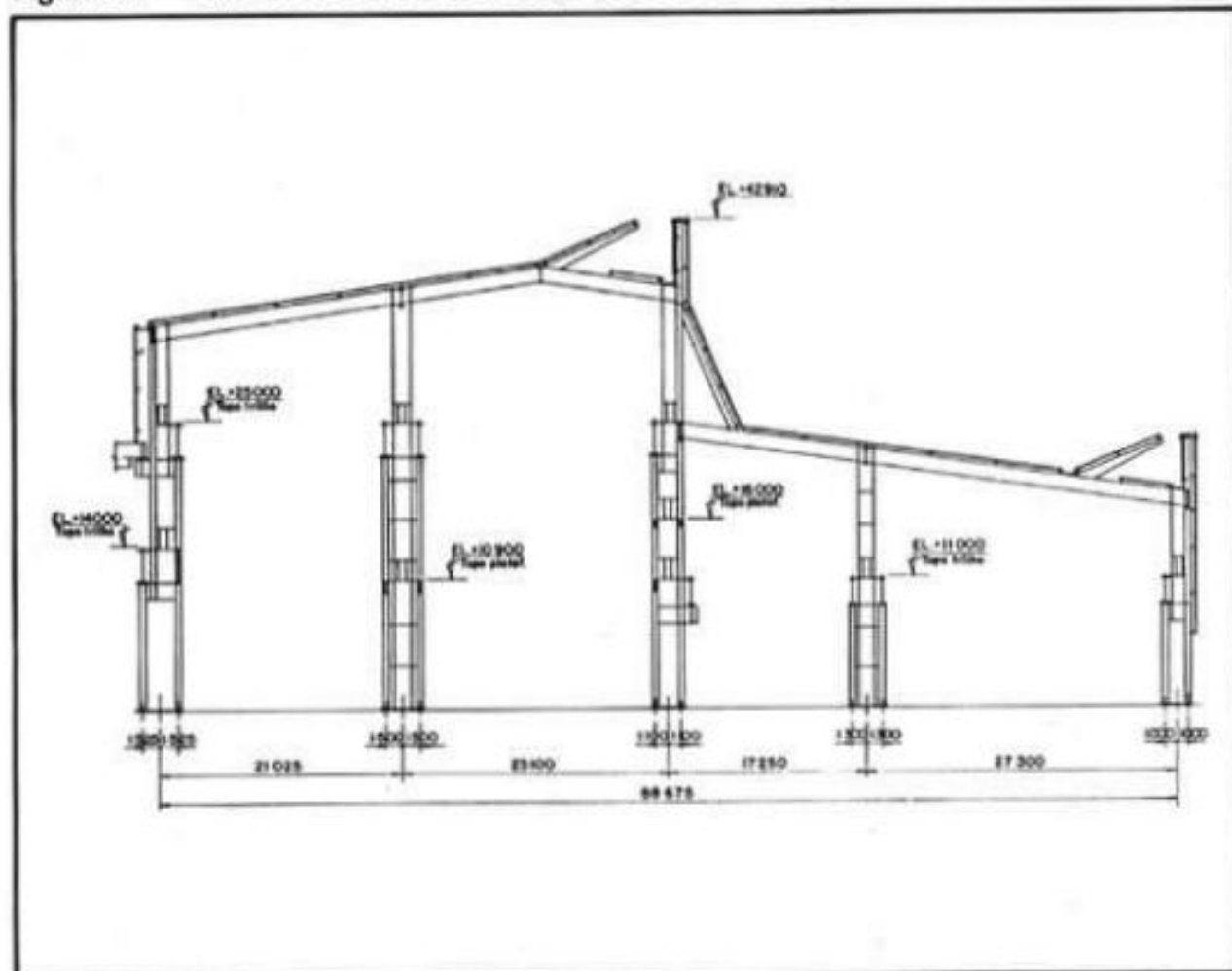



Figura 27 – **EDIFÍCIO DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO – CORTE TRANSVERSAL**

Toda a estrutura foi projetada em perfis de alma cheia, com exceção dos contraventamentos de cobertura, obtendo-se um edifício estético, simples e de fácil manutenção **(Fotos 15 e 16).**

O galpão dispõe de pontes rolantes com capacidade de até 150 t.

Edifício de Lingotamento Contínuo (Galpão para Serviços Pesados)

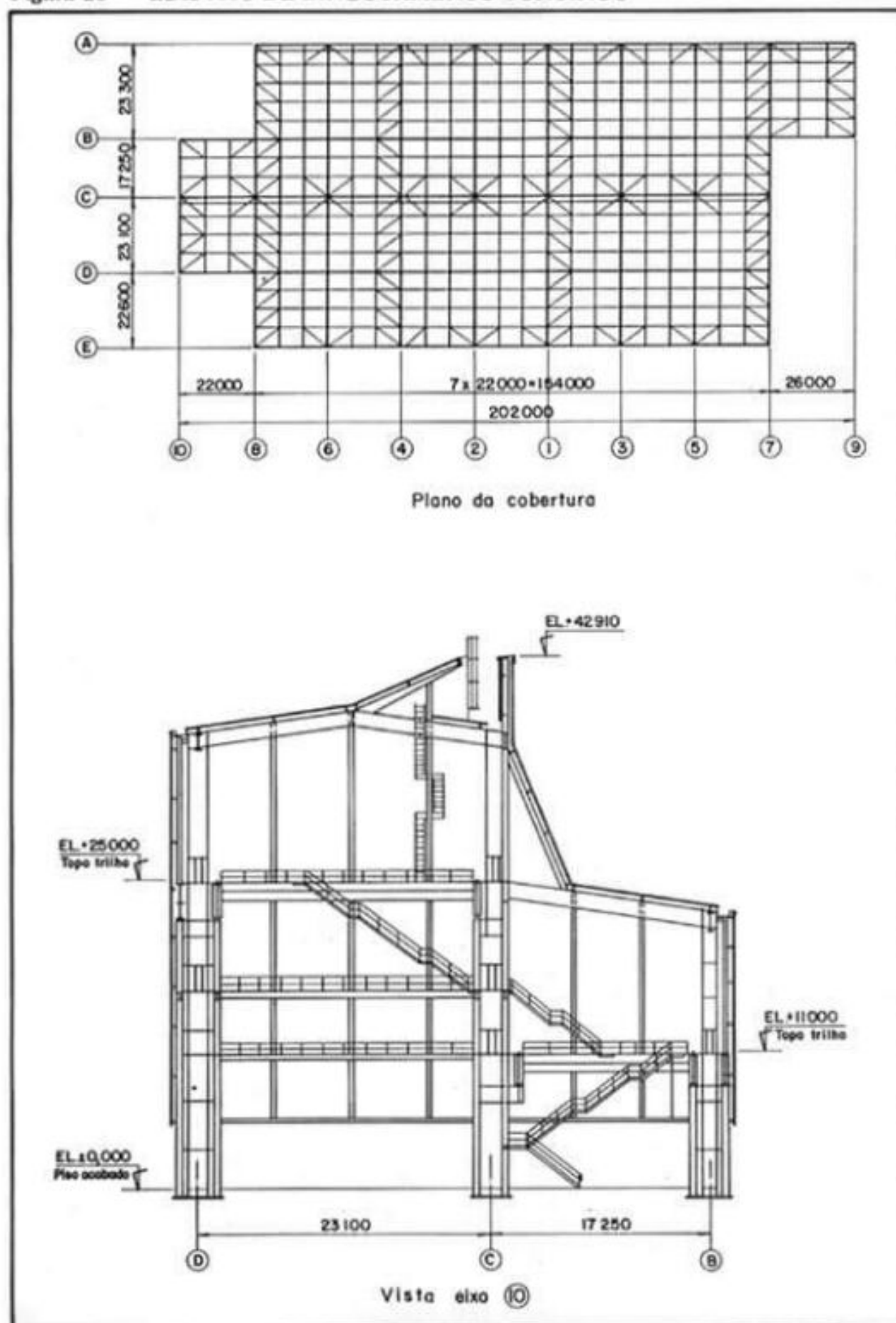
O edifício de lingotamento contínuo da **figura 27** é uma estrutura metálica pesada, devido às grandes cargas a que está sujeita e aos grandes vãos e espaçamentos entre colunas **(Foto 17).**

Em corte transversal típico **(Figura 27)** estão assinalados os níveis do topo dos trilhos das pontes rolantes, que no vão da máquina de lingotar é de 25 m acima do piso acabado. A estrutura principal é um quadro rígido de alma cheia com colunas engastadas na base.

A **figura 28** mostra a vista no eixo 10 e o plano da cobertura com indicação do contraventamento. O espaçamento típico entre colunas é de 22,m e o máximo de 26 m.

A **foto 18** mostra a montagem do tapamento.

As características da construção, mais interessantes são o material de cobertura e tapamento e o tipo de lanternim. O lanternim está ilustrado no capítulo correspondente a lanternins. Foram empregadas telhas trapezoidais de aço de alta resistência mecânica e à corrosão na cobertura e tapamento, que permitiram uso de grandes espaçamentos entre terças e travessas de tapamento, da ordem de 6,0 metros.

Figura 28 – **EDIFÍCIO DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO**

COBERTURA E TAPAMENTO

Materiais de Cobertura e Tapamento

Os materiais empregados na cobertura e tapamento têm a função de separar o ambiente interno do externo, protegendo o galpão da chuva e do vento e mantendo a temperatura em níveis adequados.

O material ideal para cobertura deve ser leve, impermeável, resistente às intempéries, ter pequena condutibilidade térmica, elevada resistência mecânica, facilidade de manuseio na montagem, bom aspecto estético e baixo custo.

Os principais materiais empregados são:

– Cobertura:
telhas de fibro-cimento
telhas metálicas
telhas de PVC

– Tapamentos Laterais:
telhas de fibro-cimento
telhas metálicas
painéis metálicos
telhas de PVC
vidro
alvenaria

Telhas de Fibro-cimento

As telhas de Fibro-cimento, obtidas a partir de uma polpa de cimento e fibras de amianto, apresentam-se sob diversas formas, conforme mostra a **figura 29**:

A tabela a seguir fornece, como referência, a declividade mínima admissível para cada tipo de telha e o vão máximo da utilização normal. O vão máximo admissível é definido a partir do peso próprio das telhas sem outras sobrecargas que a absorção de água.

TELHAS DE FIBRO – CIMENTO

Tipo	Alt. h	Esp.	Declividade	Vão Máx.
	mm	mm	°	m
A) Onduladas	51	6	10 a 15	1,69
		8	10 a 15	1,99
	125	6	10 a 15	3,96
		8	3 a 5	4,46
B) Trapezoidais	35	6	10 a 15	1,20
C) Canaletas	180	10	3 a 5	5,50
	244	8	3 a 5	7,00

Figura 29 – **TELHAS E CANALETAS DE FIBRO-CIMENTO**

Telhas Metálicas

As telhas metálicas podem ser de alumínio, de chapa de aço galvanizada, plastificada ou de aço com resistência à corrosão.

a) Telhas de Alumínio

As telhas de alumínio possuem corrugação trapezoidal, são de baixo peso específico, elevado poder de reflexão e econômicas.

Deve ser evitado o contato direto das telhas de alumínio com a estrutura metálica, para eliminar a corrosão eletroquímica, o que é obtido através de pintura com tintas à base de cromato de zinco ou betuminosas, papelão betuminado ou colagem de fitas especiais. Não se deve empregar zarcão.

O mesmo cuidado deve ser tomado nos pontos de fixação, onde os parafusos devem ser zincados ou cadmiados.

As telhas de alumínio são de fácil manuseio, mas suscetíveis de deformações ou manchas, se a colocação não for realizada com o devido cuidado.

O cimento e a cal atacam o alumínio, não sendo aconselhável o emprego de telhas de alumínio nas proximidades de fábricas desses produtos.

b) Telhas de Chapa de Aço

As telhas de chapa galvanizada ondulada, cujo uso já foi generalizado, estão sendo substituídas por telhas com outros perfis. Grande progresso têm experimentado as telhas com corrugação trapezoidal, que possuem os mais variados acabamentos — galvanização, revestimento plástico, pintura, esmaltação — ou são executadas em aços resistentes à corrosão, como o "COR-TEN", "YAW-TEN", SAC-50 e, em casos especiais, em aço inoxidável.

Especial destaque é dado a esse tipo de telhas, devido ao extraordinário desenvolvimento e emprego que tem tido nos países industrializados.

As **figuras 30** e **31** indicam uma série de formas de telhas trapezoidais para cobertura e para tapamento lateral.

A tabela a seguir fornece, como referência, a declividade mínima admissível para cada tipo de telha e o vão máximo de utilização normal, para a carga devida ao peso próprio.

TELHAS METÁLICAS

Tipo	Alt.h	Esp.	Declividade	Vão Máx
	mm	mm	°	m
Telhas de alumínio	38	0,40 a 1,00	5	até 2,00
Telhas de Chapa de aço ondulada	76	0,40 a 3,50	5	até 3,00
Telhas de Chapa de aço trapezoidal	26 a 150	0,75 a 2,00	5	até 7,50

Figura 30 – **TELHAS DE AÇO PARA COBERTURA**

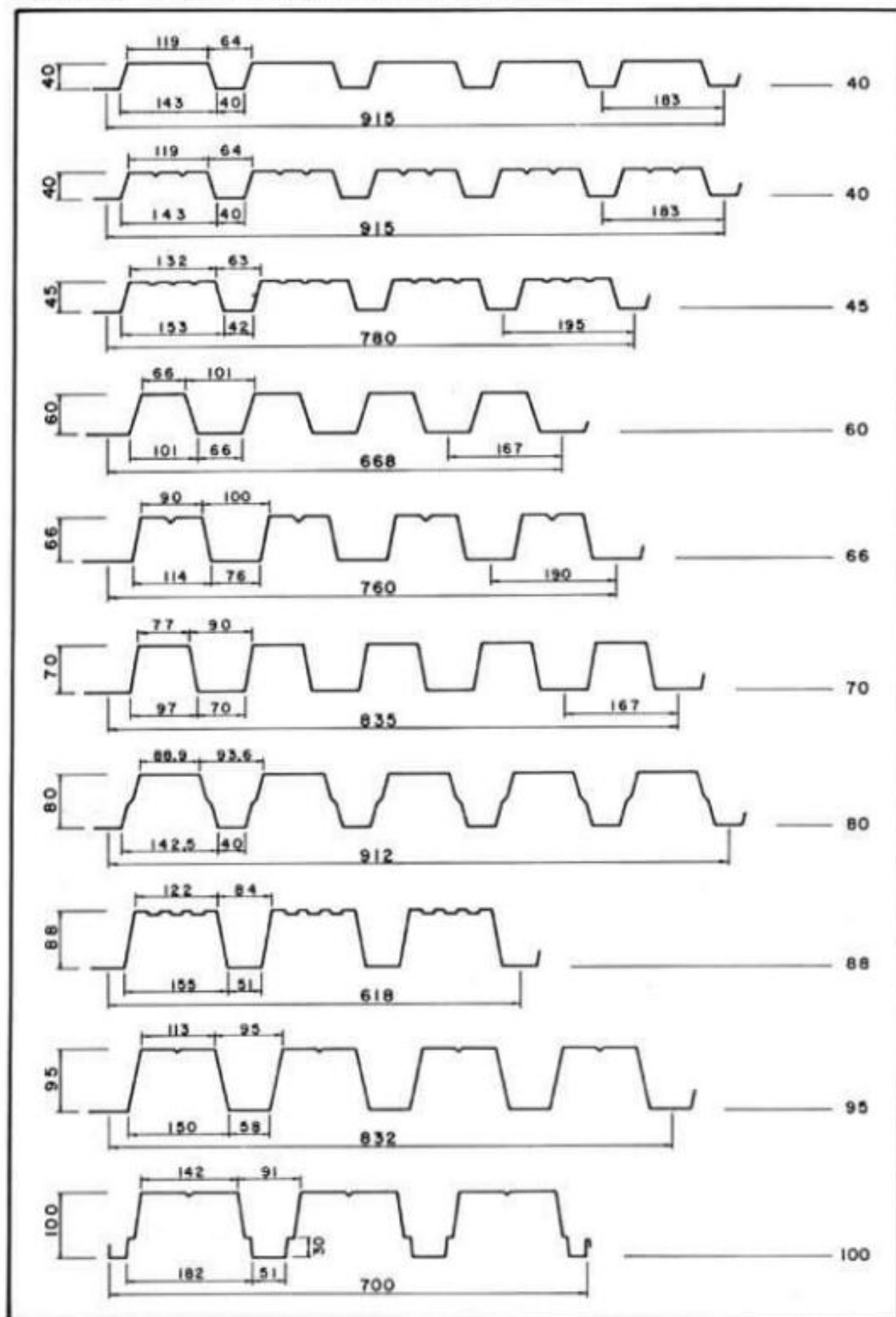



Figura 31 – **TELHAS DE AÇO PARA TAPAMENTO**

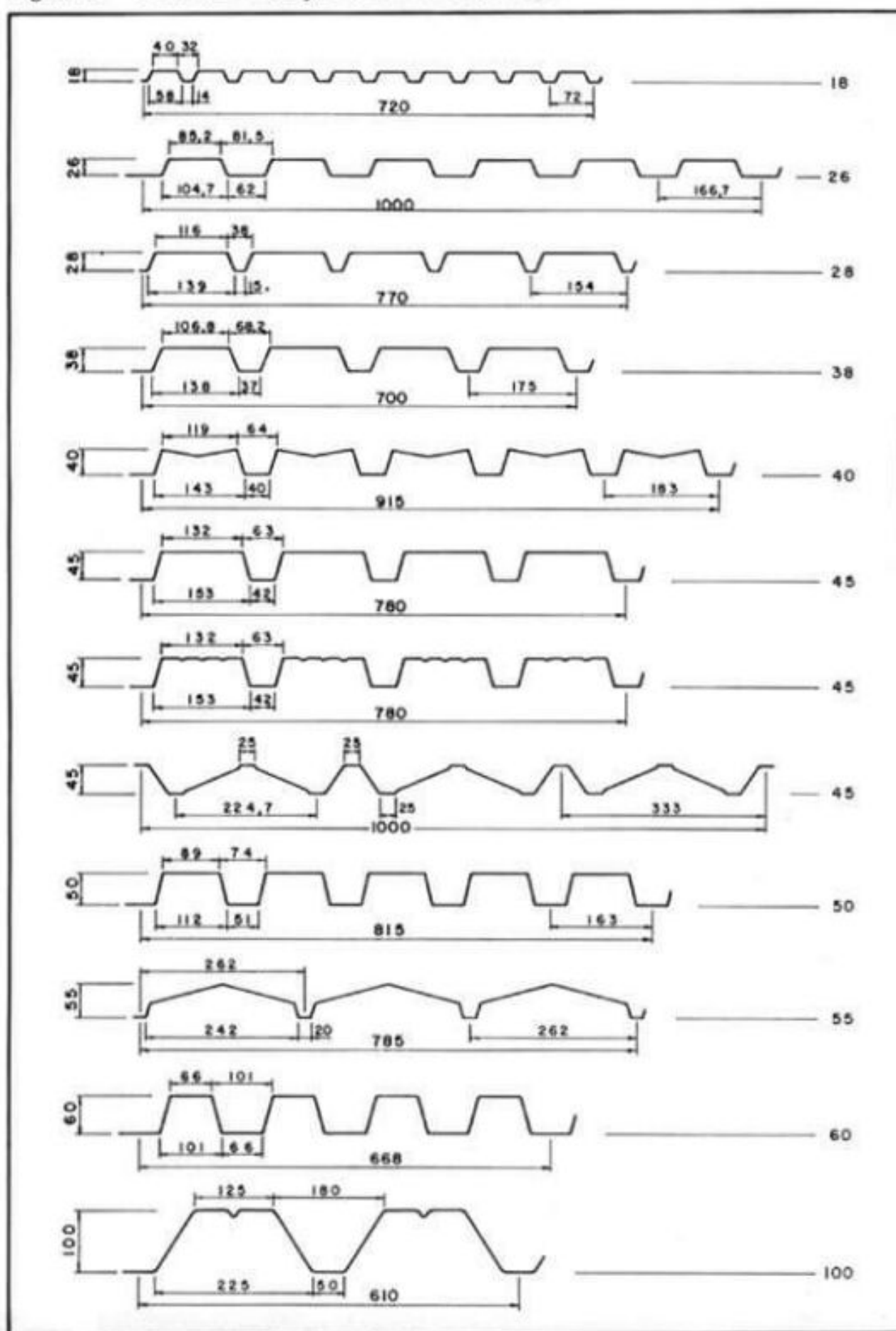
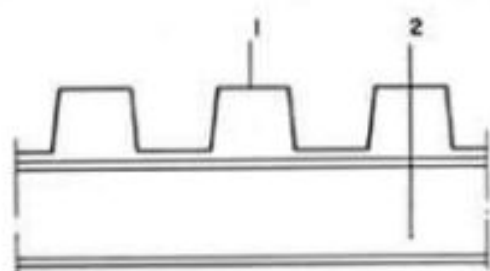
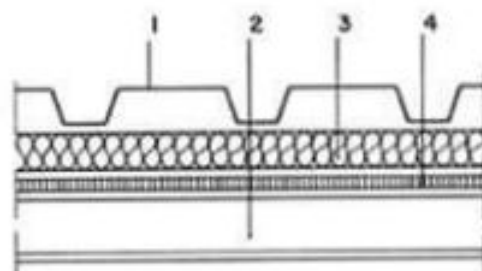
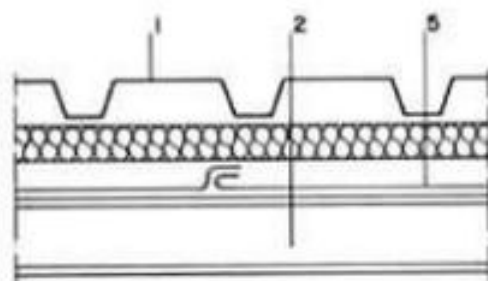
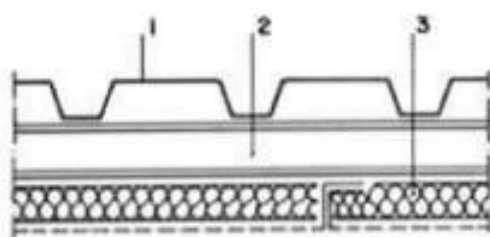
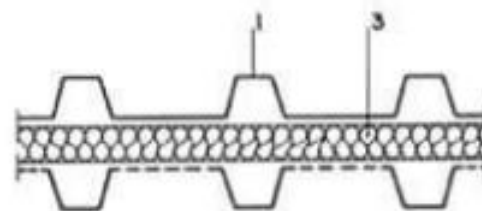



Figura 32 – **TIPOS DE TAPAMENTO COM TELHAS DE AÇO TRAPEZOIDAIS**

Os valores aconselháveis para o trespasse entre as telhas são normalmente indicados no catálogos dos fabricantes.

Para adequada proteção contra chuva de vento, o trespasse entre as telhas deve ser tanto maior quanto menor a declividade. Em certos casos, usam-se colas especiais para melhor garantia de vedação. Nos telhados de pequena declividade, há que considerar o risco de empoçamento da água devido à flecha da telha ou das terças e à acumulação de detritos sobre as telhas.

Telhas de PVC

As telhas de PVC são utilizadas quando se quer obter uma faixa de iluminação natural. Existem telhas com ondulação correspondente aos principais tipos de telhas de fibrocimento e alumínio.

Painéis Metálicos

Os painéis metálicos utilizados para tapamentos laterais apresentam bom efeito arquitetônico e seu uso, a exemplo das telhas trapezoidais, tem aumentado constantemente (**Figura 33**).

Vidro

O vidro tem aplicação restrita e sua utilização vem sendo substituída, em parte, por outros materiais.

Alvenaria

A alvenaria de tijolos e blocos de cimento e areia continua tendo grande utilização no País, embora nos países industrializados venha sendo substituída por telhas e painéis metálicos.

Fixação e Detalhes Típicos

a) Telhas de fibro-cimento
As telhas de fibro-cimento são geralmente fixadas por meio de ganchos chatos ou ganchos com rosca, providos de porca e arruela. A **figura 34** dá alguns detalhes de fixação de telhas de fibro-cimento.

b) Telhas Metálicas
As telhas onduladas ou trapezoidais de chapas galvanizadas podem ser fixadas por ganchos com rosca, porca e arruela galvanizadas ou por parafusos auto-rosqueadores galvanizados. Normalmente, uma das arruelas é galvanizada e a outra de chumbo ou neoprene.

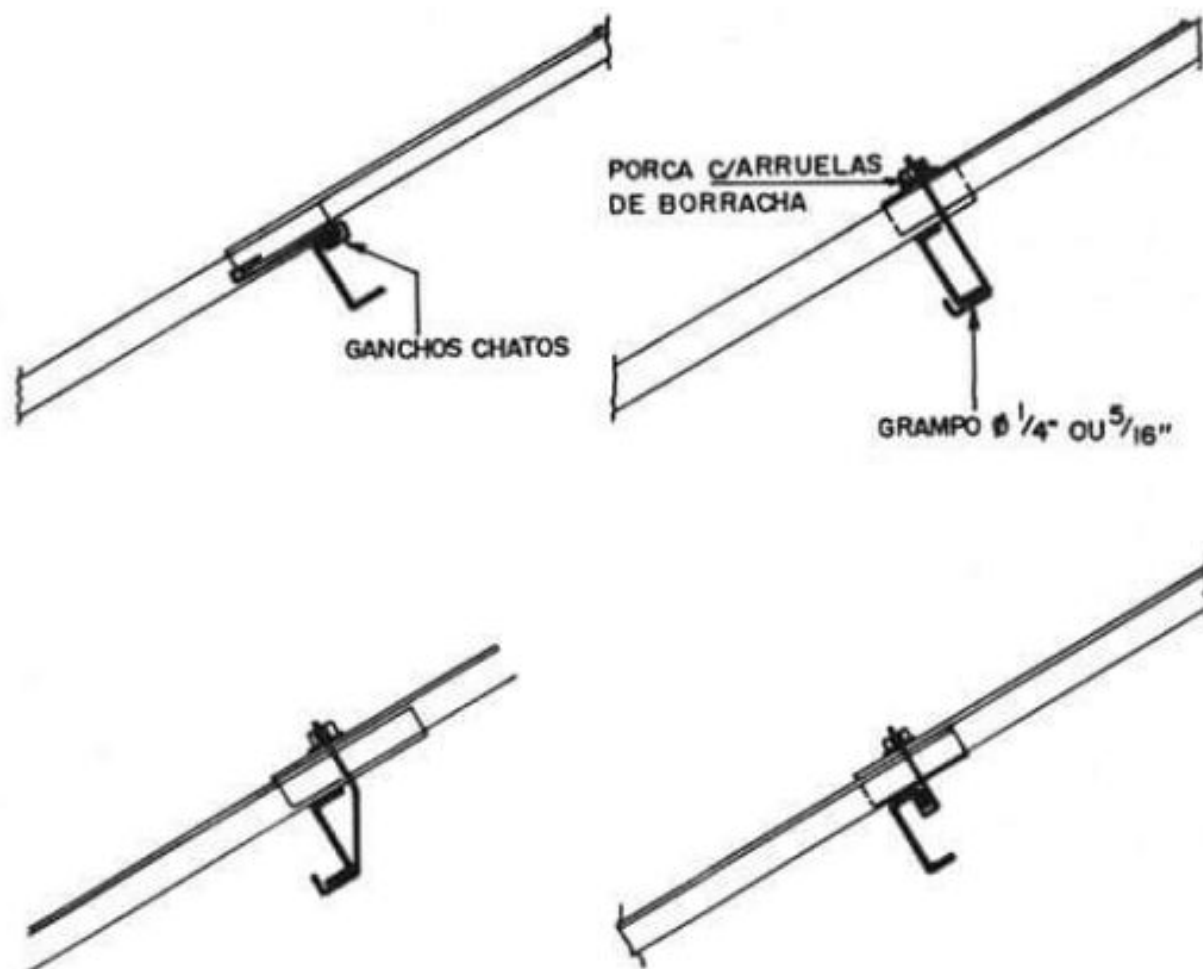
Os detalhes de fixação por ganchos são semelhantes aos utilizados para telhas de fibrocimento. As **figuras 35** a **37** indicam alguns detalhes típicos de fixação de telhas trapezoidais.

As telhas ou painéis de aço inoxidável, devido a seu custo elevado, somente têm emprego em fachadas de edifícios quando se deseja obter efeitos estéticos.

Quando se deseja proteção térmica e acústica, são empregadas telhas ou painéis revestidos de material sintético esponjoso.

PORCA C/ARRUELAS
DE BORRACHA

GANCHOS CHATOS

GRAMPO ⌀ 1/4" OU 5/16"

ACESSÓRIOS DE FIXAÇÃO DAS TELHAS

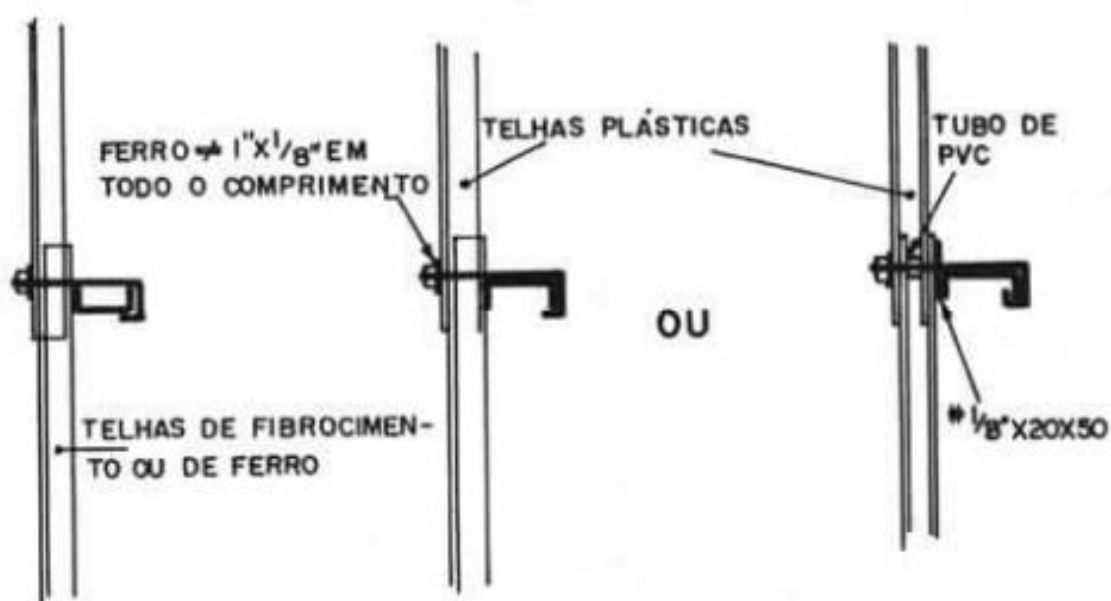
GANCHOS E GRAMPOS

FECHAMENTO (PAREDES VERTICAIS)

Figura 33 – **PAINÉIS PARA TAPAMENTO**

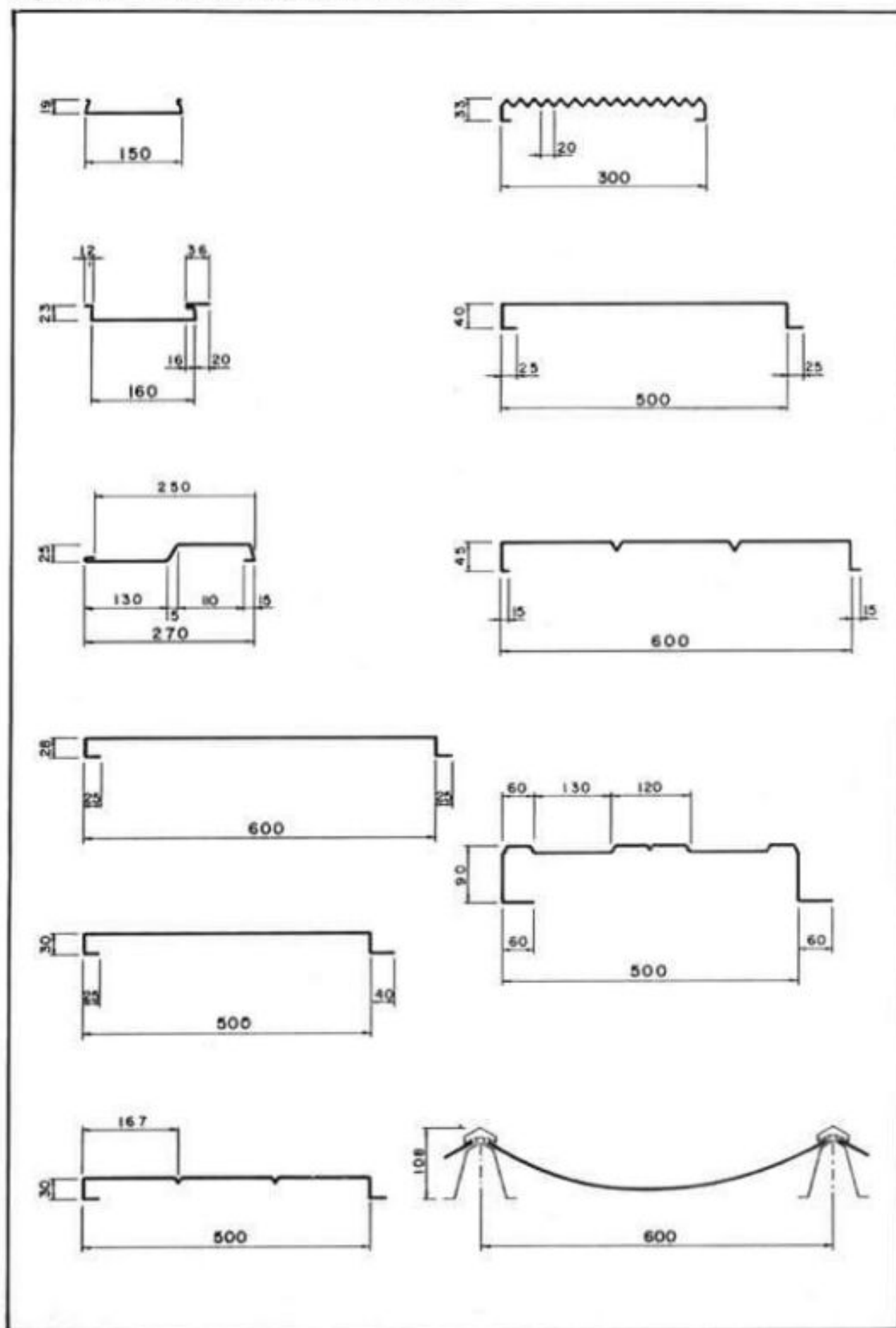



Figura 34 – **DETALHES DE COBERTURA COM TELHAS DE FIBRO-CIMENTO**

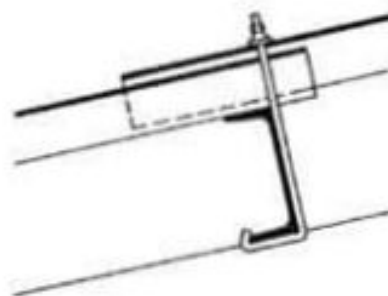
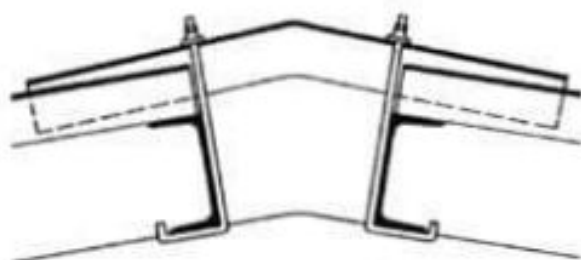
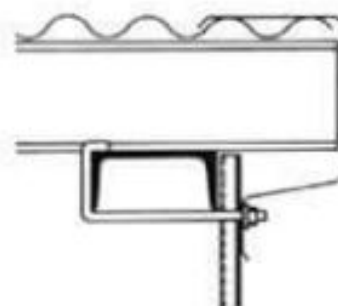
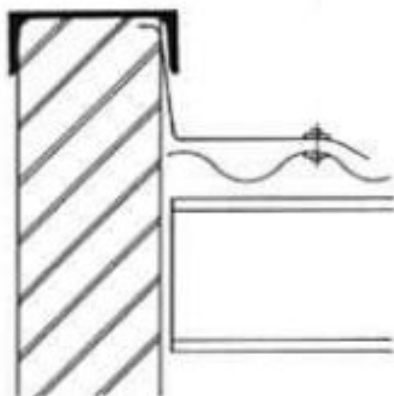
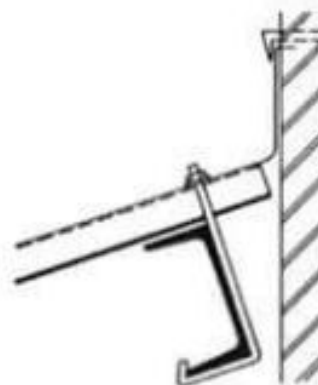



Figura 35 – **TIPOS E DETALHES DE COBERTURA COM TELHAS TRAPEZOIDAIS**

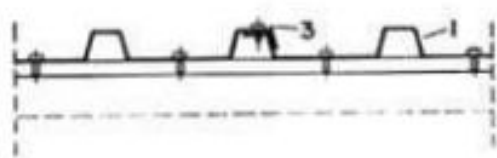
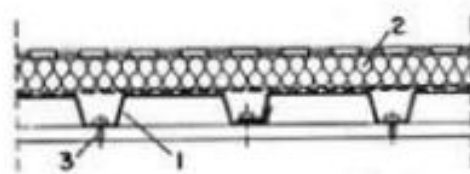
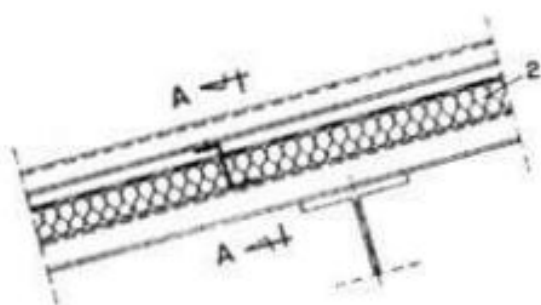
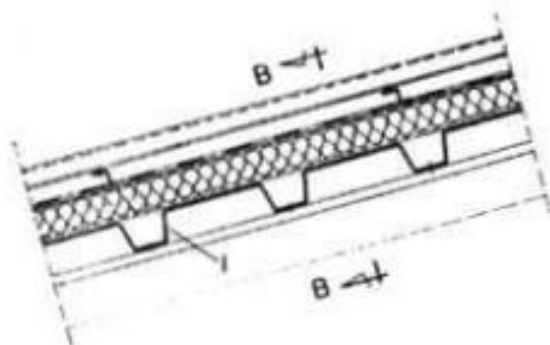
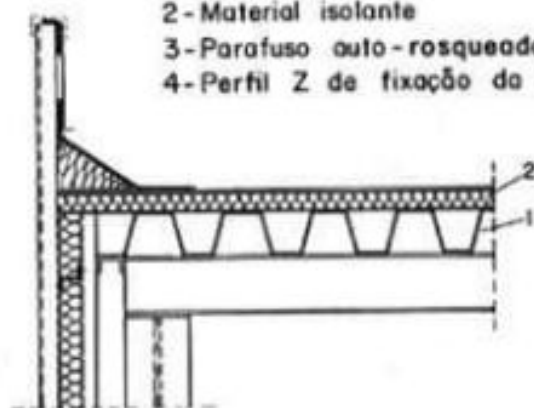



Figura 36 – **DETALHES DE COBERTURAS COM TELHAS TRAPEZOIDAIS**

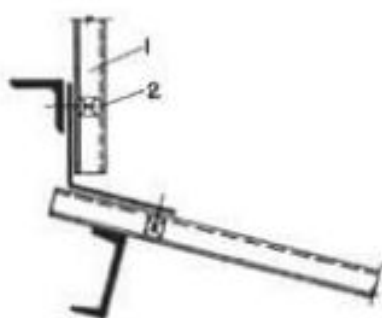
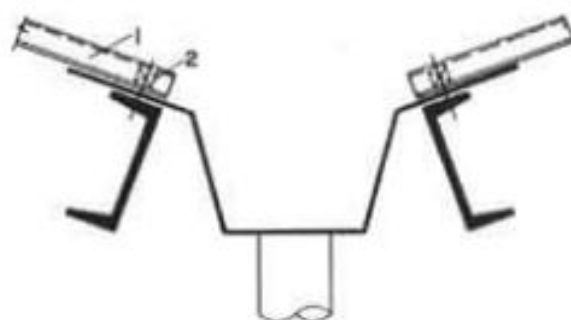
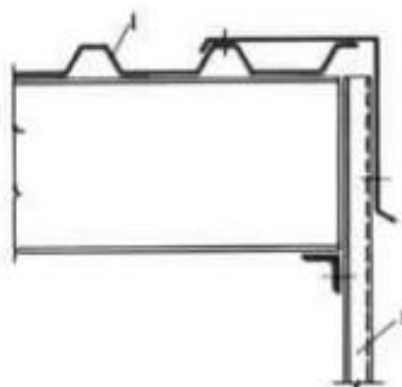
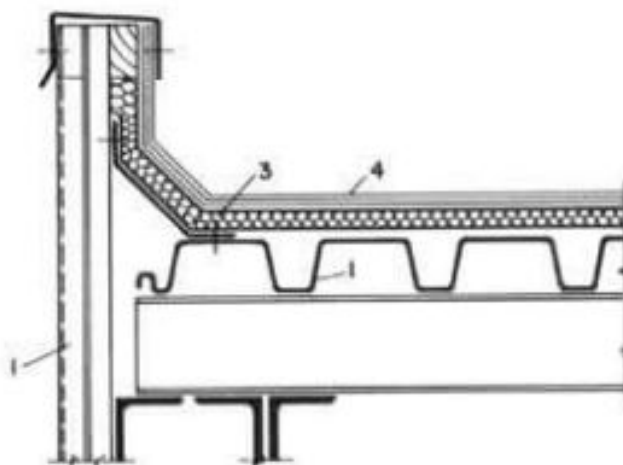
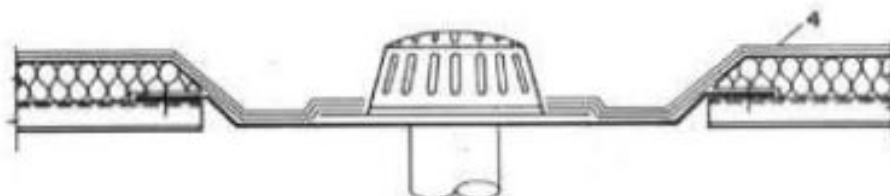
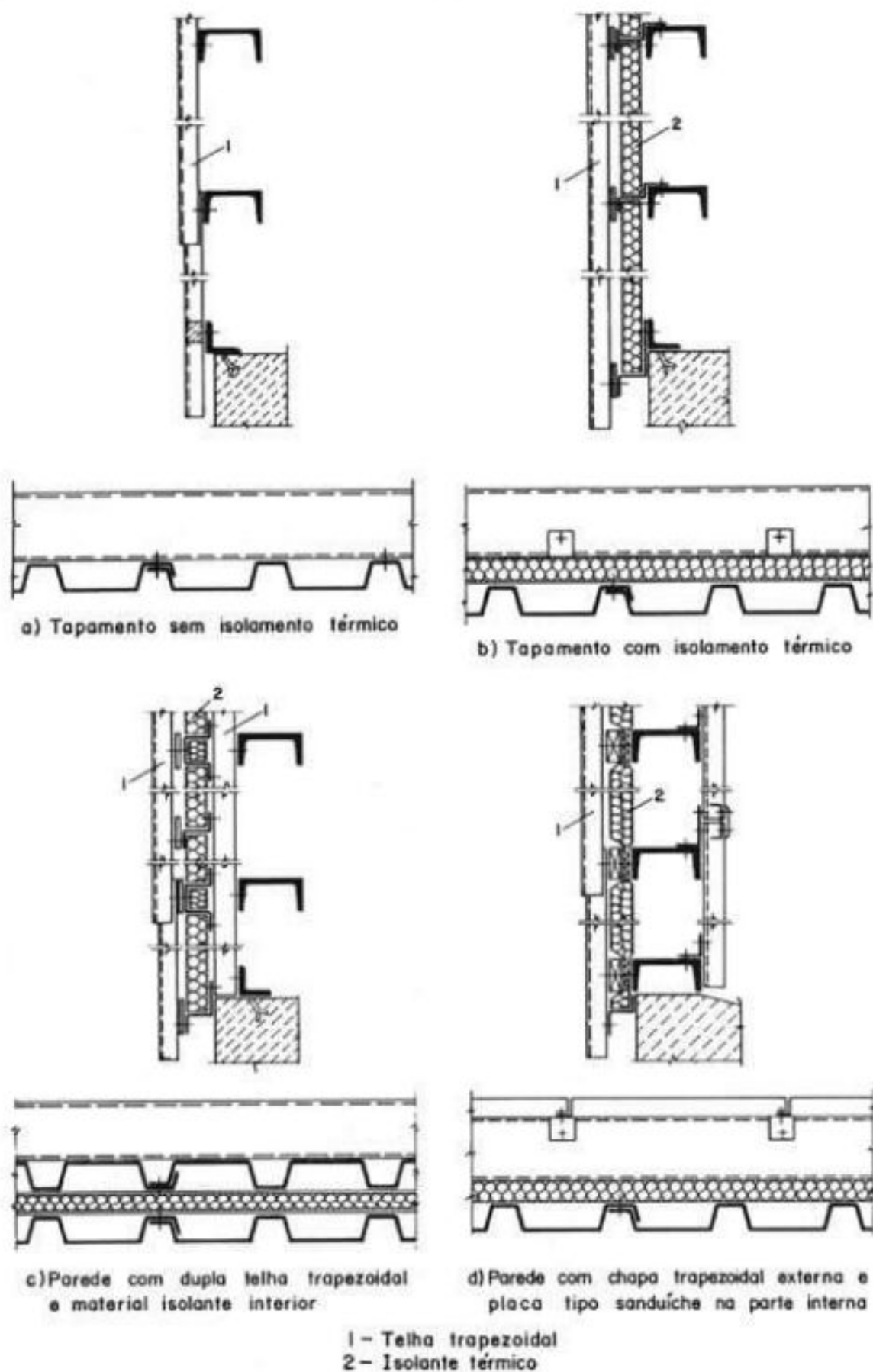



Figura 37 – **TIPOS E DETALHES DE TAPAMENTO COM TELHAS TRAPEZOIDAIS**

AS TELHAS SANDUÍCHE

As telhas sanduíche, isto é, com função termo-acústica, já são bem aceitas no mercado, visto o conforto que trazem com a vedação de ruídos e proteção quanto às temperaturas extremas. Estas telhas têm como isolantes, geralmente, o poliuretano e a lã de rocha. **A figura 38** indica um sistema comprovado de fixação desse tipo de telha em tapamento.

Os parafusos auto-rosqueadores podem ser de aço cromo-níquel, de aço zincado ou cadmiado; os pinos, de aço galvanizado; os rebites cegos, de liga níquel-cobre ou alumínio; e os pregos, de aço galvanizado ou inoxidável.

A fixação de telhas de alumínio é feita por métodos semelhantes, tomando-se o devido cuidado quanto ao problema de corrosão eletroquímica.

c) Alvenaria

As figuras 39 e 40 dão detalhes típicos de fixação de alvenaria na estrutura metálica.

Figura 38 – **MEIOS DE LIGAÇÃO DE TELHAS TRAPEZOIDAIS**

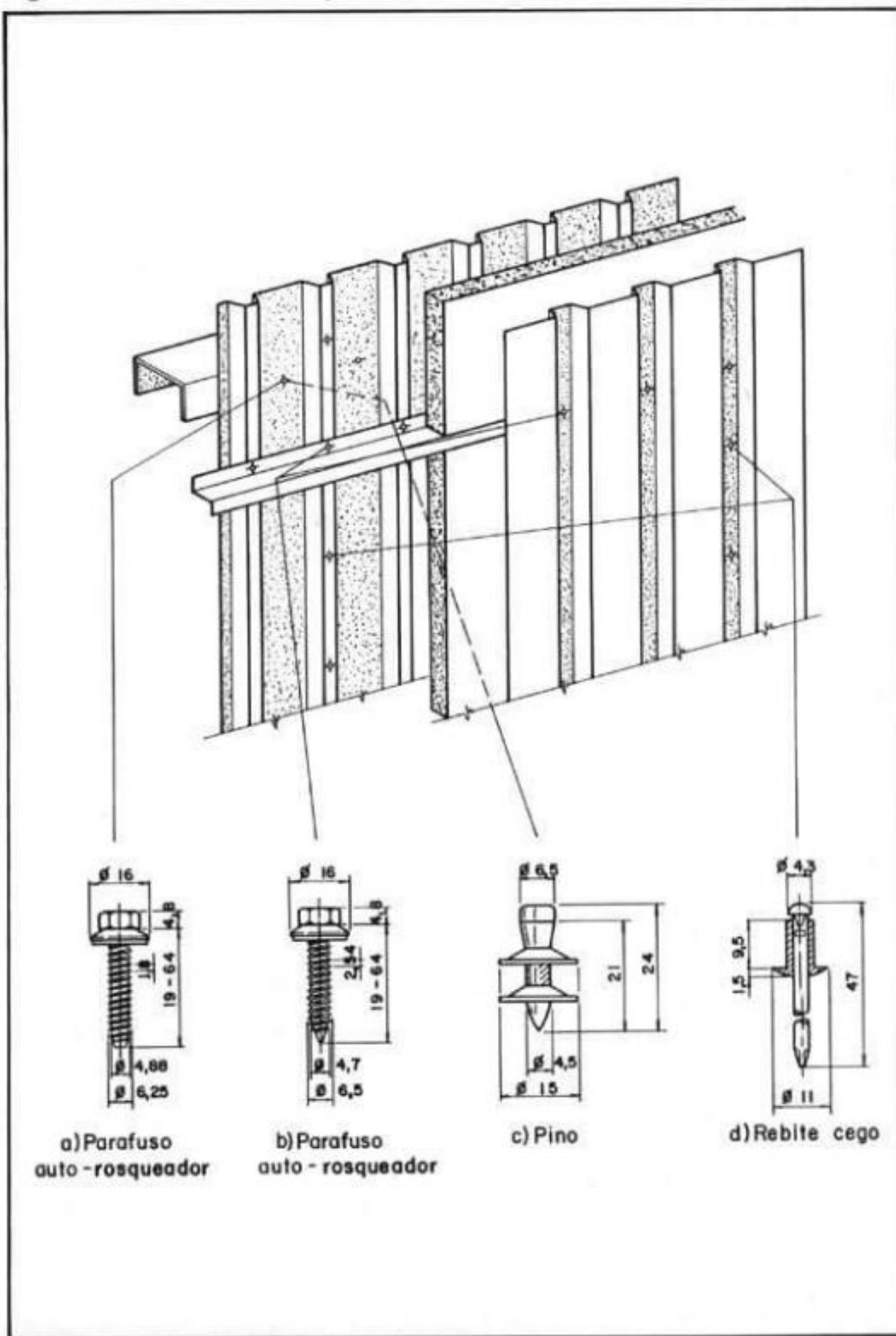



Figura 39 – **LIGAÇÃO DA ALVENARIA NA COLUNA. PAREDE DE 15 cm**

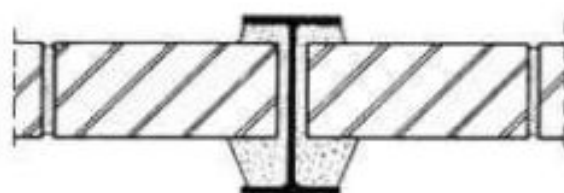
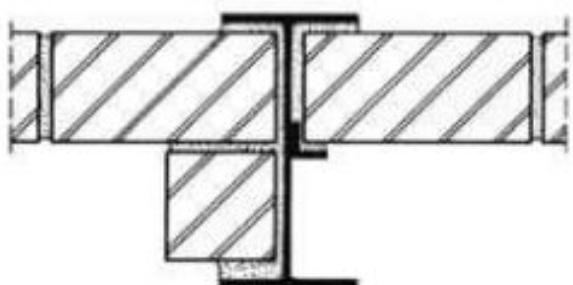
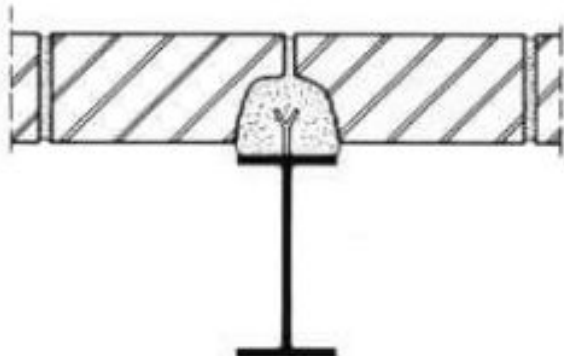
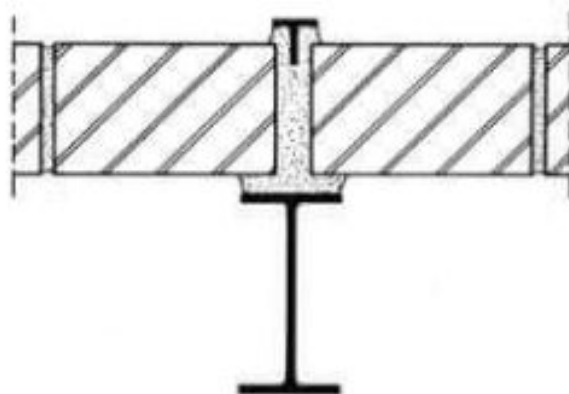
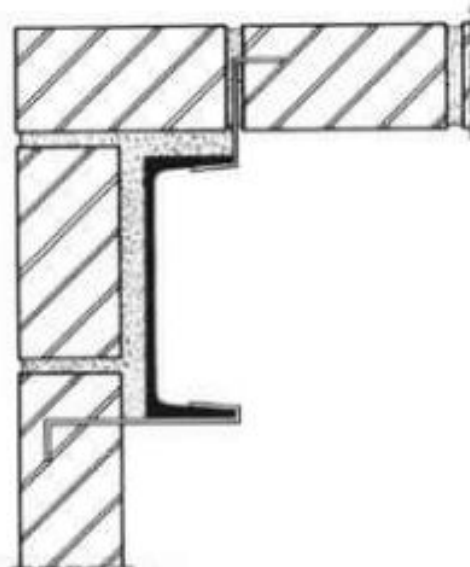
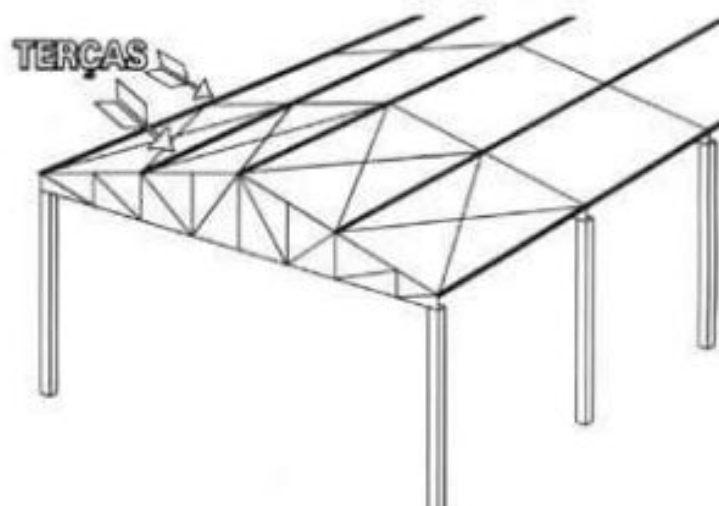



Figura 40 – **LIGAÇÃO DE CANTO DA ALVENARIA NA ESTRUTURA. PAREDE DE 15 cm.**

TERÇAS

TERÇAS são elementos metálicos de apoio e fixação das telhas. Recebem as cargas da cobertura.

A função principal das terças é servir de apoio às telhas de cobertura, e de elemento estabilizante das peças em que se apóiam.

As cargas que atuam nas terças são encaminhadas a peças transversais de grandes vãos, chamadas tesouras. Devido a seus vãos, as tesouras apresentam problemas de estabilidade lateral. As terças, apoiando-se transversalmente nas tesouras, reduzem o comprimento de flambagem das tesouras à distância entre os apoios. Para garantir a indeslocabilidade desses pontos de apoio, é necessário o contraventamento no plano da cobertura. Na realidade, embora no cálculo tais pontos sejam considerados indeslocáveis, os apoios são elásticos. O painel de contraventamento é formado pelas tesouras, terças e diagonais.

Os painéis de contraventamento da cobertura geralmente são colocados nos vãos extremos dos galpões ou, em construções mais extensas, a cada quinto ou sexto vãos. Em construções menores, pode-se empregar um único contraventamento no vão central.

As diagonais do contraventamento são calculadas como peças tracionadas. No caso da **figura 44**, para as cargas indicadas, as peças que trabalham em função das cargas decorrentes da pressão do vento na fachada frontal são as desenhadas em linha cheia, na **figura 45.**

O espaçamento entre terças é função do vão admissível para o tipo de telha empregada.

Para simplificar a ligação da terça na tesoura e o apoio e fixação das telhas, as abas das terças são montadas com a mesma inclinação da cobertura;pelos mesmos motivos de simplificação, são usadas duas terças nas cumeeiras (**Figura 46**).

A ligação das terças na tesoura é normalmente feita com parafusos.

Os perfis mais empregados em terças são o U e o I, laminados a quente, e os perfis dobrados ou conformados a frio, com forma de C ou cartola. O perfil tipo cartola é utilizado quando, além do momento fletor, há esforços de compressão.

Devido às dificuldades de manuseio e montagem, por se tratarem de peças esbeltas, as terças são projetadas como vigas biapoiadas.

Excepcionalmente, utilizam-se terças como vigas contínuas ou vigas GERBER.

Para vãos maiores, da ordem de 9 a 12 metros, utilizam-se terças em treliças ou com mão-francesa.

Figura 44 – **CONTRAVENTAMENTO DE COBERTURA**

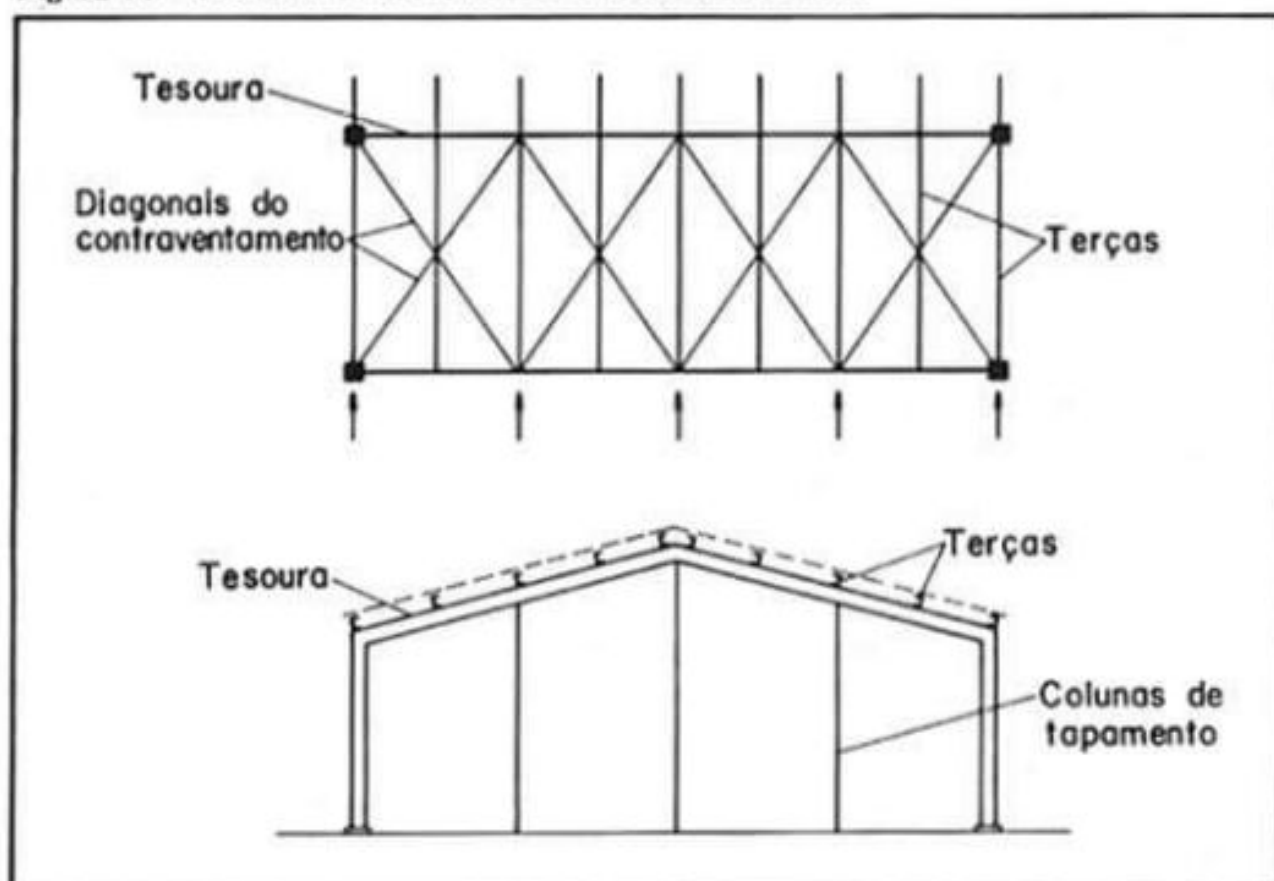



Figura 45 – **TRELIÇA DE CONTRAVENTAMENTO**

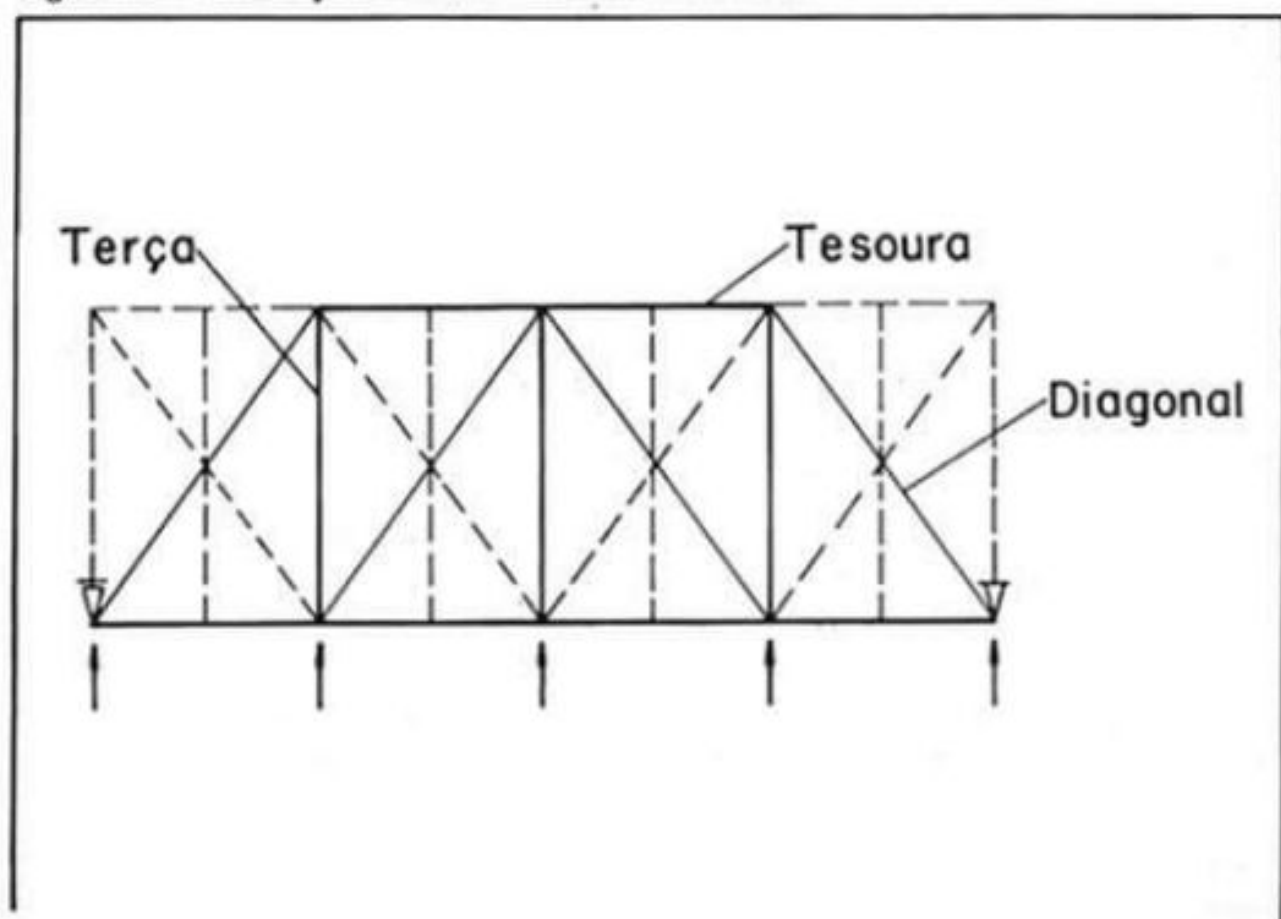



Figura 46 – **APOIO E EMENDA DE TERÇAS**

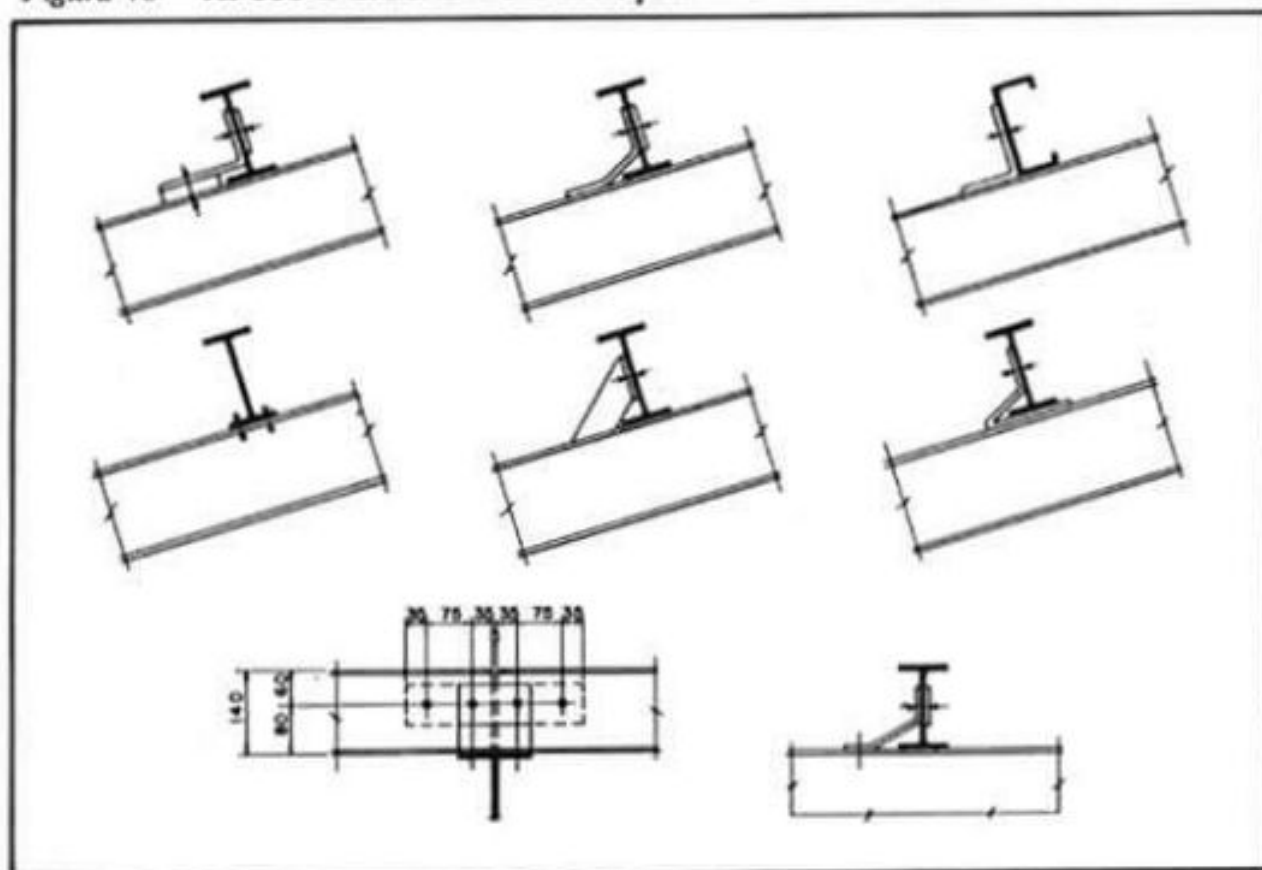



Figura 47 – **PERFIS PARA TERÇAS**

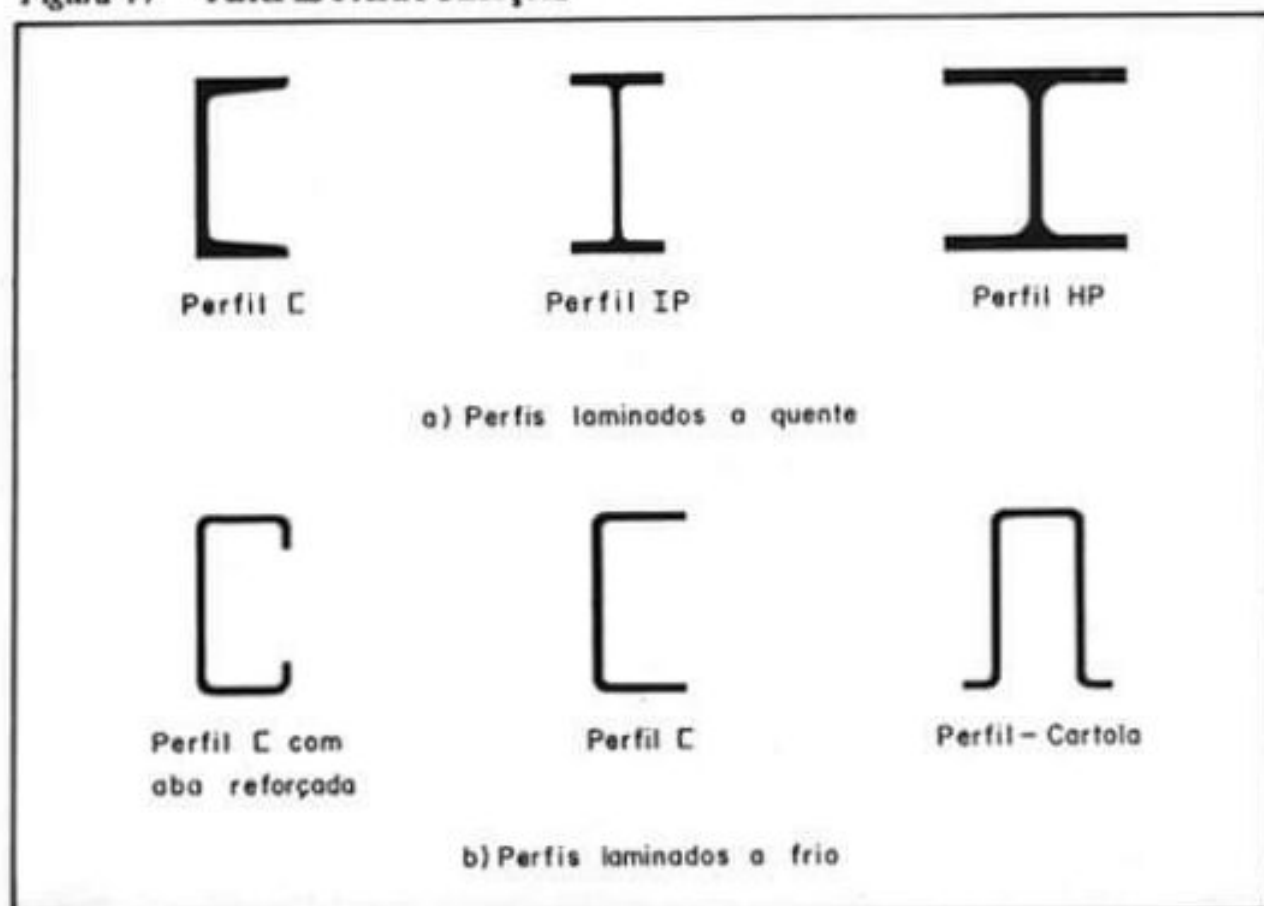



Figura 48 – **TERÇAS COM MÃO-FRANCESA**

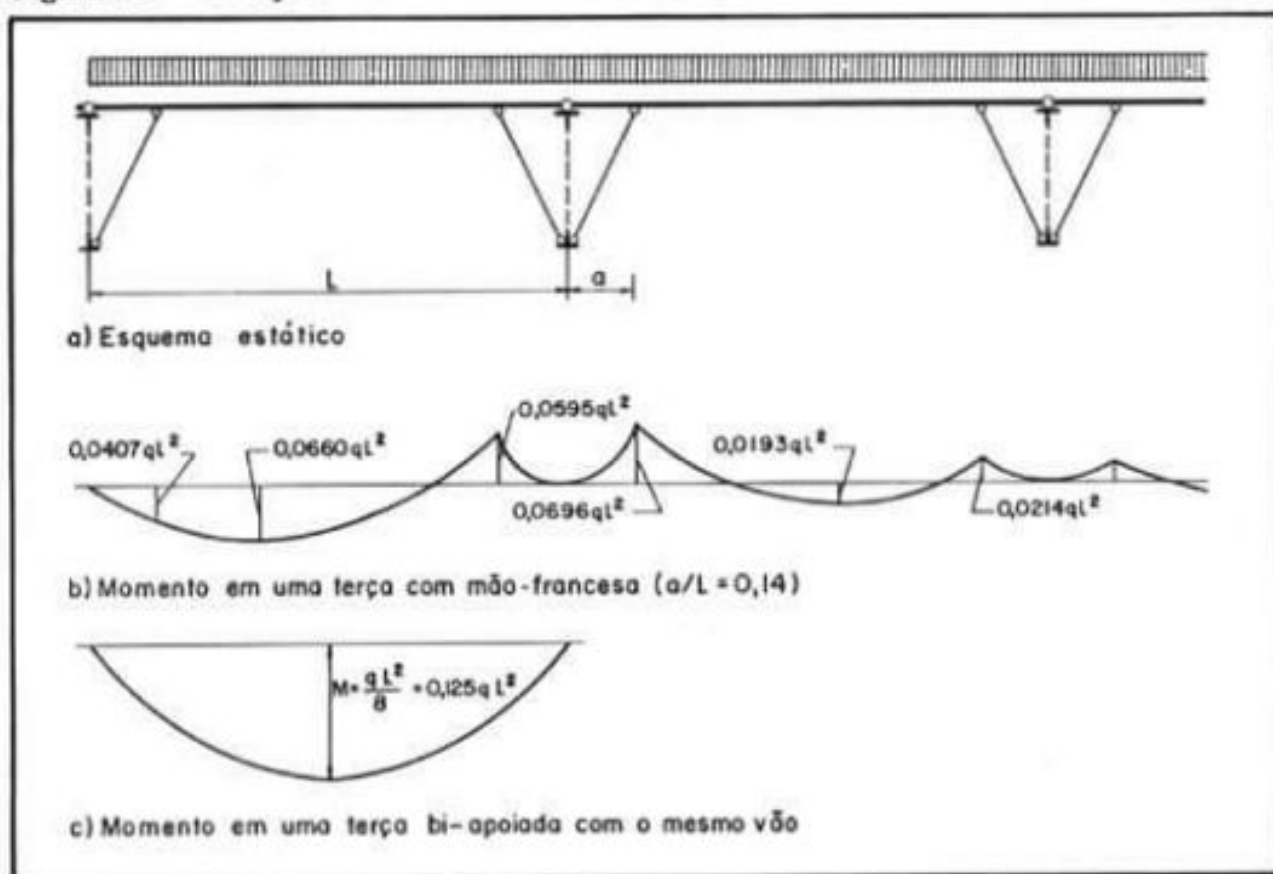



Figura 49 – **DETALHE DA TERÇA COM MÃO-FRANCESA**

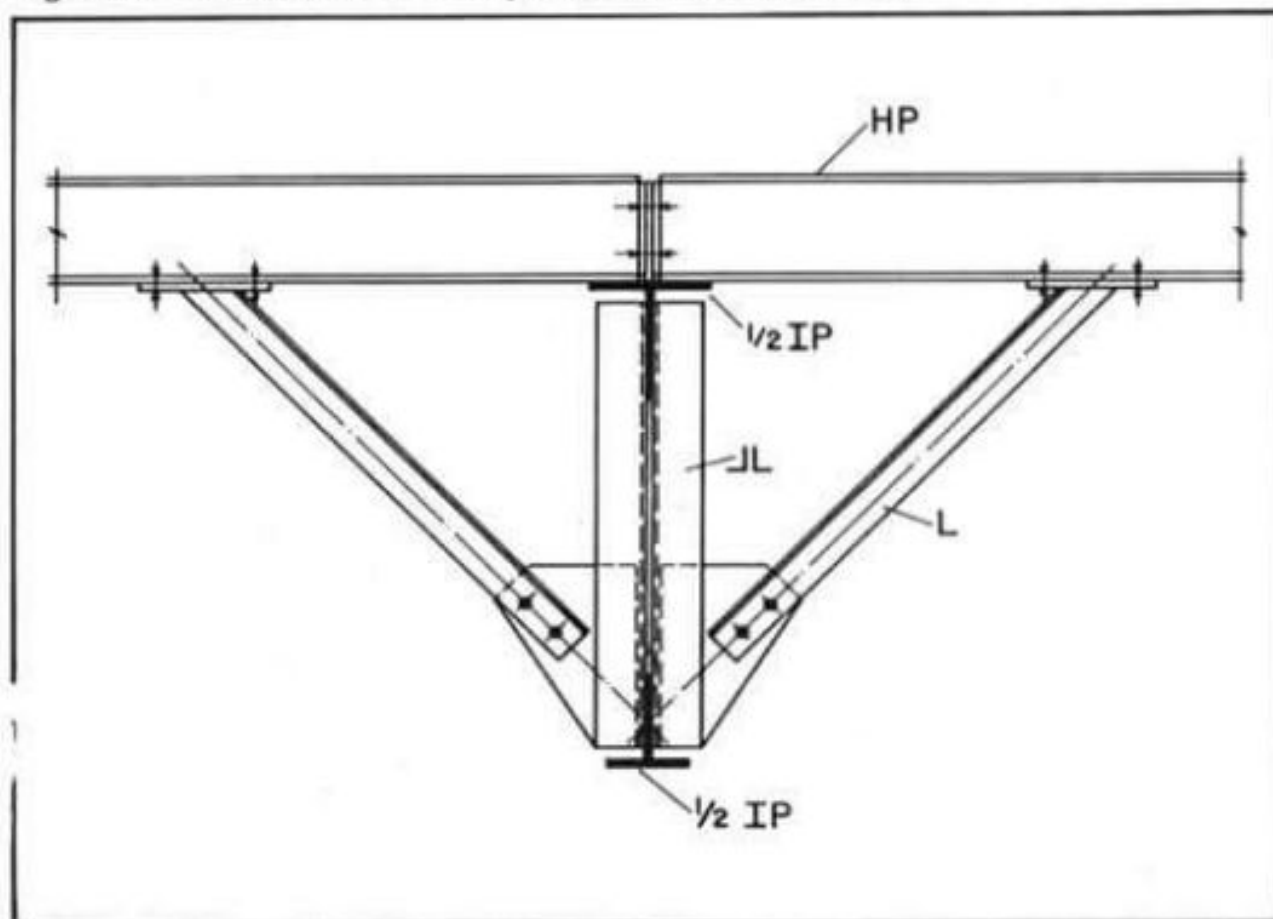
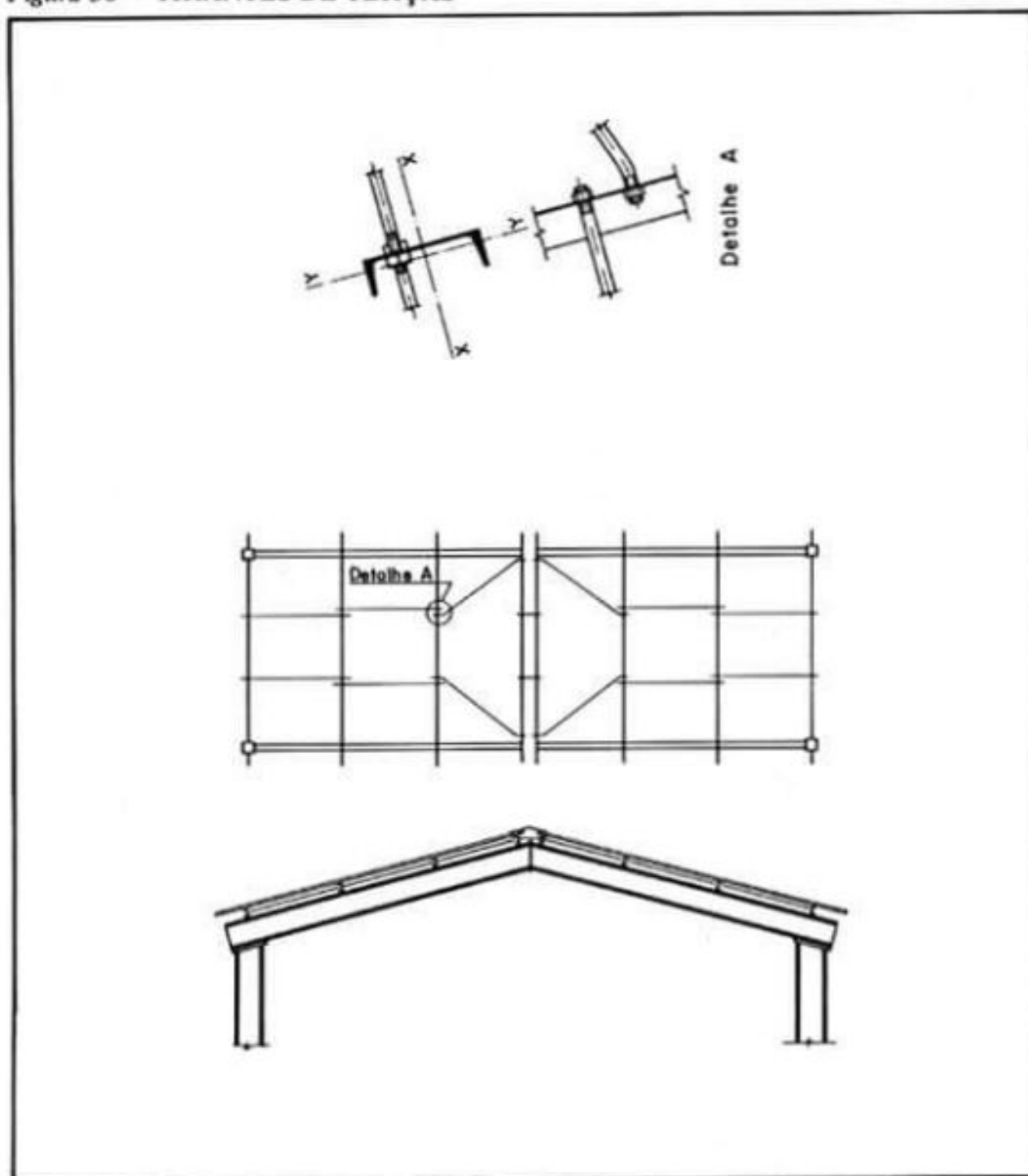



Figura 50 – **TIRANTES DE TERÇAS**

Torna-se muito econômico o uso de terças com mão-francesa quando, além da redução de peso, se deseja impedir a flambagem da mesa ou corda inferior das tesouras engastadas nas colunas, formando pórticos. Nesses pórticos ocorre compressão na corda ou aba inferior, tornando necessária a garantia de sua estabilidade.

A **figura 48** mostra o esquema estático e a comparação entre os momentos de uma terça com mão-francesa e uma terça birrotulada com o mesmo vão.

Para reduzir o momento fletor no sentido Y, é comum o emprego de tirantes no meio ou a cada terça parte do vão.

COLUNAS são elementos estruturais que transmitem para as fudações as cargas das edificações.

TESOURAS são elementos estruturais que suportam as cargas do telhado e dão estabilidade às estruturas.

TERÇAS são elementos metálicos de apoio e fixação das telhas. Recebem as cargas da cobertura.

CONTRAVENTAMENTO é um sistema de travamento das estruturas com a finalidade de distribuir as cargas de vento e dar estabilidade aos conjuntos estruturais.

Modelo de Galpão para vão até 15 metros.

Cumeeira

Terça

Telha

Calha

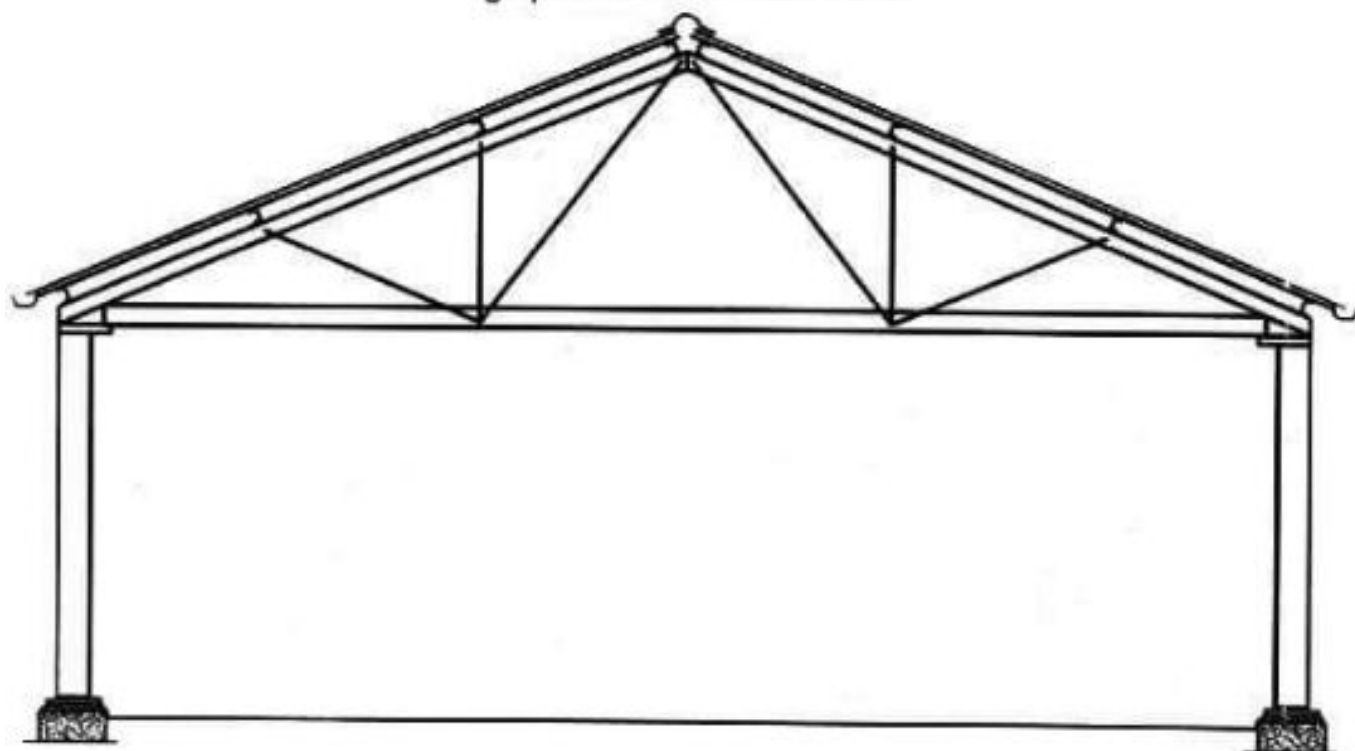
Tesoura

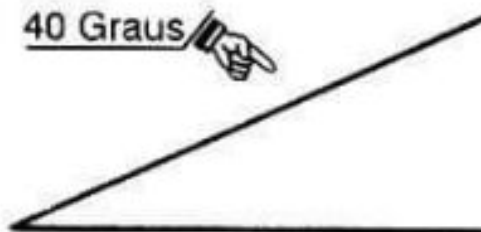
Coluna

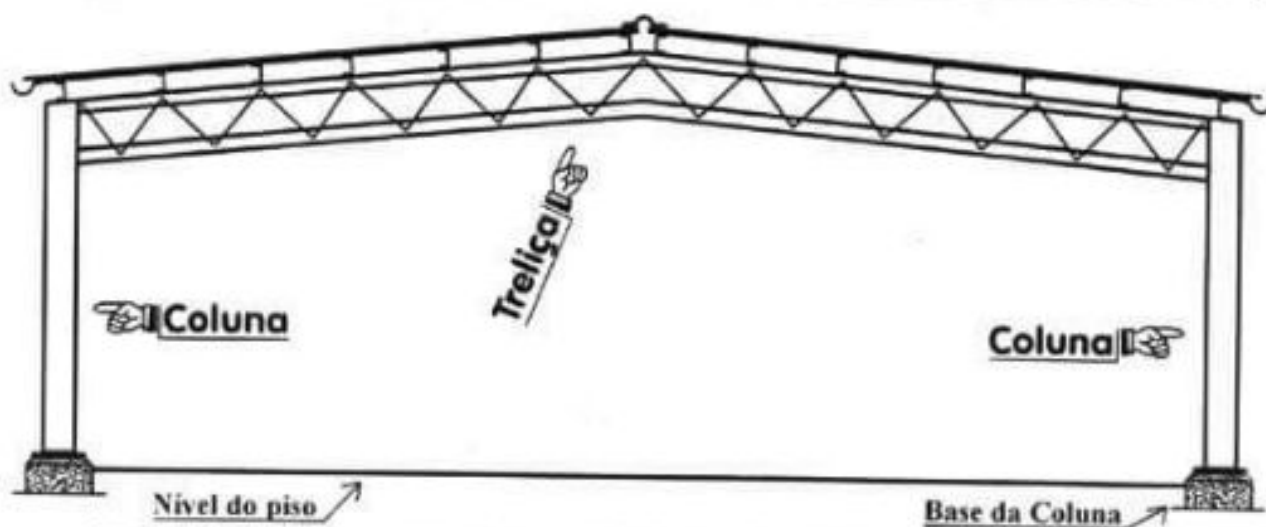
Não se deve usar este modelo de tesoura em inclinação do telhado inferior a 15 graus.

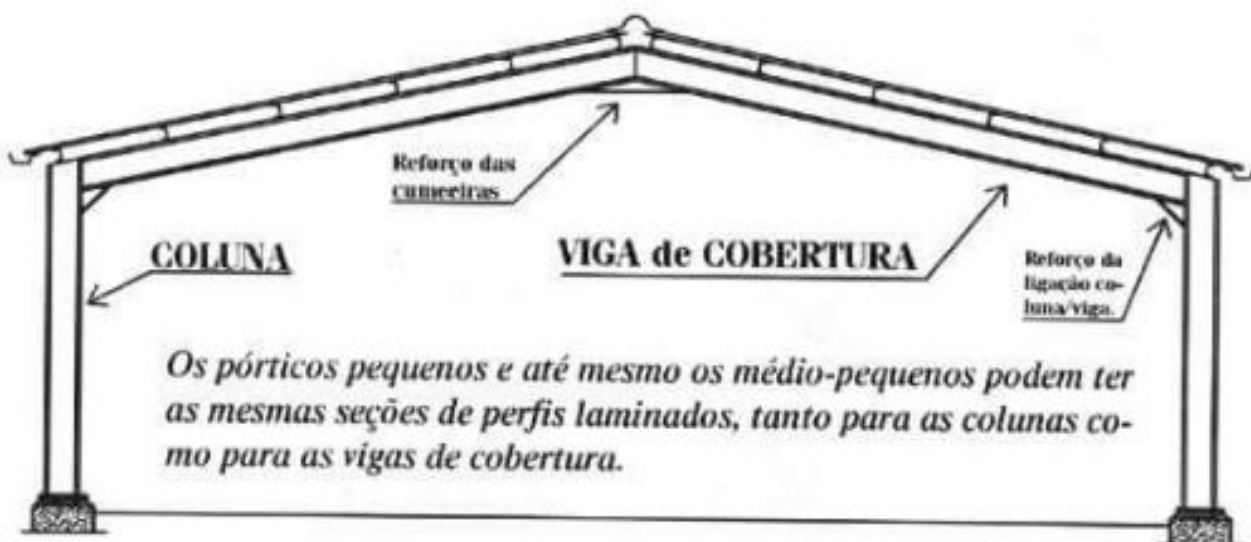
Nivel do piso

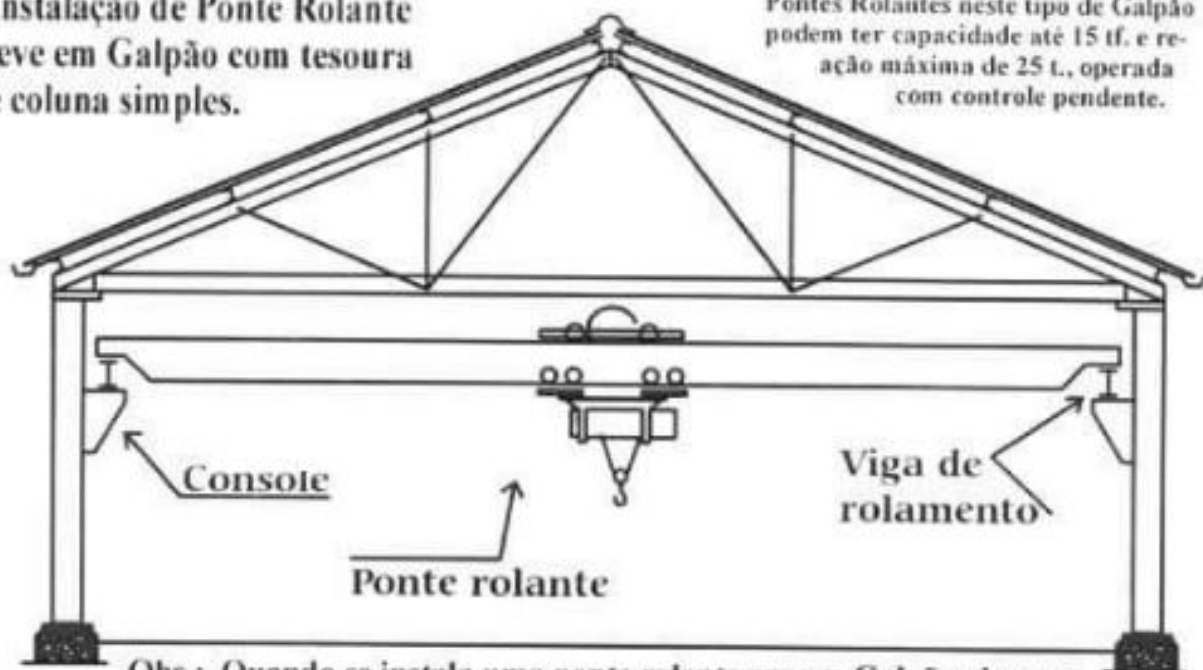
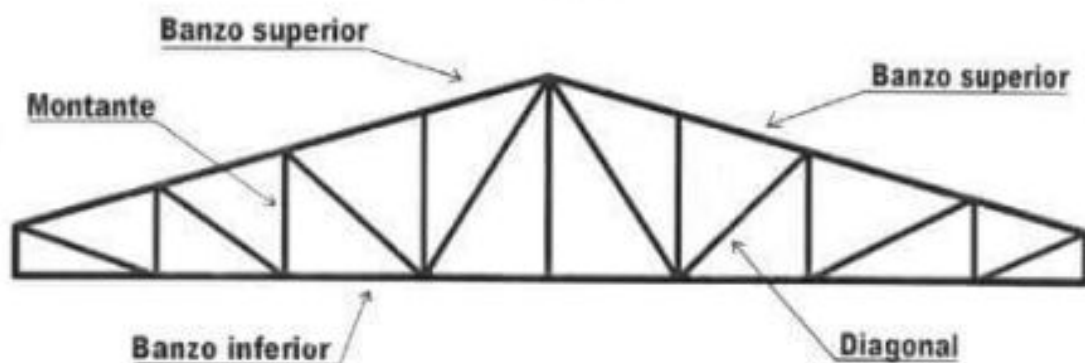
Base da Coluna

Pórtico mostrando modelo de tesoura para galpões com vão até 15 m.

Obs: Este tipo de tesoura não deve ser usado em inclinações inferiores a 15º (quinze graus)

Inclinações das tesouras:

Modelo de pórtico para Galpões com grandes vãos.

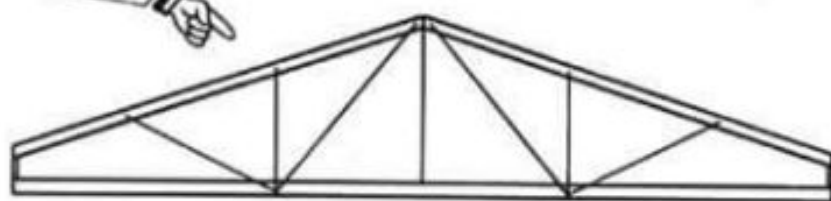
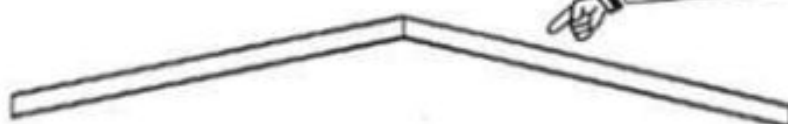
Quando os Galpões têm grandes vãos, é aconselhável usar inclinações menores e, ao invés de tesouras, usar treliças. Neste caso, como a inclinação do telhado é pequena, deve-se aumentar o recobrimento nas emendas das telhas - ou usar selante para vedar possível entrada de água da chuva.

Obs.: veja diferença entre Tesoura e Treliça no tópico: Vigas de Cobertura.

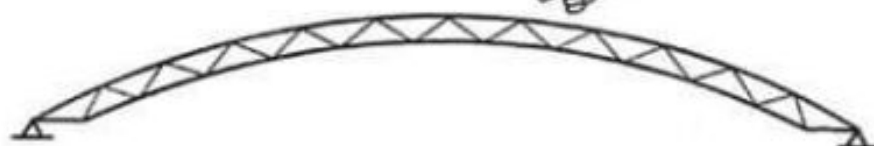
Galpão com pórtico de alma cheia

Os pórticos pequenos e até mesmo os médio-pequenos podem ter as mesmas seções de perfis laminados, tanto para as colunas como para as vigas de cobertura.

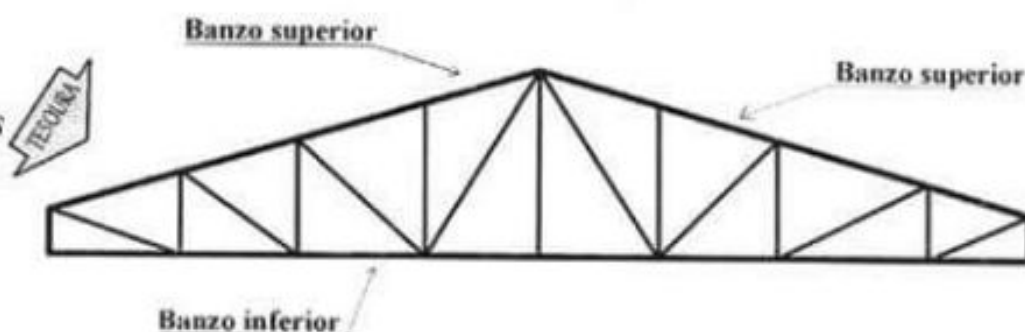
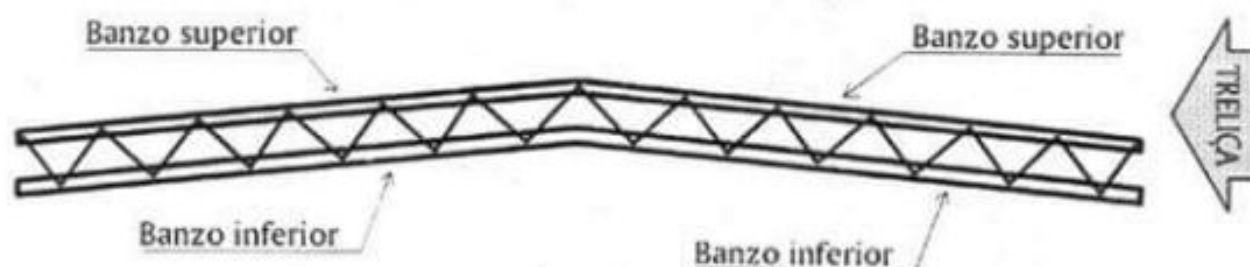
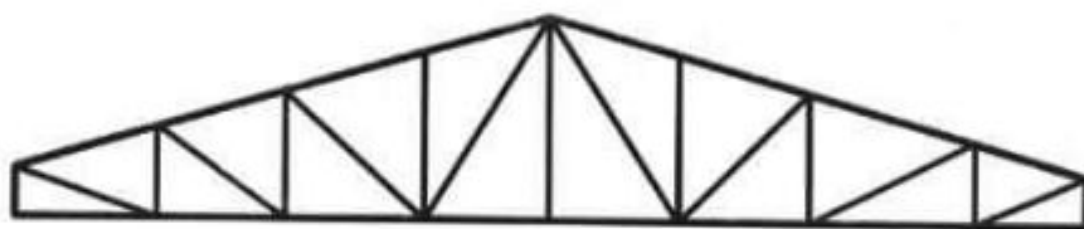
Obs.: Se o pórtico tiver vãos médios e grandes, as seções dos perfis das colunas costumam ser de diferente dimensionamento que o das vigas de cobertura.

Nomenclaturas das peças de uma Tesoura

OUTROS NOMES:

- Banzos → pernas - cordas - linhas
- Montantes → pontaletes - treliça radial
- Diagonal → treliça inclinada - etc.

As vigas de cobertura podem ser:

Em Tesoura

Em Alma Cheia

Em Treliça

Em Arco

Diferença entre **TESOURA** e **TRELIÇA**

Nas TESOURAS os banzos superiores não são paralelos ao banzo inferior:

Enquanto que nas TRELIÇAS os banzos superiores e inferiores geralmente são paralelos:

TESOURAS

Considerações Gerais

Tesouras são as vigas principais da estrutura, que recebem as cargas devidas ao material de cobrimento, peso das terças, vento, peso próprio e eventuais cargas suspensas.

Normalmente, para efeito de cálculo, consideram-se sobrecargas na cobertura, para atender a cargas adicionais devidas à água de chuva, poeira acumulada, tubulações, instalações elétricas, talhas de manutenção etc. Tais sobrecargas variam entre 10 e $50km^2$. Em usinas siderúrgicas e construções especiais, podem atingir valores superiores. Nas construções pesadas, as sobrecargas são definidas por norma ou pela firma projetista da instalação.

A distância entre tesouras é geralmente dada pelos espaçamentos entre colunas, que dependem, basicamente, da função a que se destina o galpão. Quando o espaçamento entre colunas é muito grande, torna-se mais econômico o uso de tesouras intermediárias. Havendo liberdade, escolhe-se o espaçamento que conduza a maior economia no custo global de terças e tesouras.

A corda superior ou, no caso de tesouras de alma cheia, a aba superior, é projetada paralela à cobertura. A inclinação da cobertura é função do material empregado para cobrimento ou do efeito estético que se deseja obter, dentro dos limites de declividade mínima permitidos pelo material utilizado.

Tesouras Treliçadas

A tesoura treliçada normalmente é utilizada como viga biapoiada.

A corda inferior das treliças geralmente é horizontal. Por motivos estéticos, nos vãos maiores a corda é executada com contra flecha igual a um décimo da altura.

A **figura 51** indica algumas formas de tesouras treliçadas.

A forma de tesouras treliçadas mais utilizada é a trapezoidal.

A treliça triangular é utilizada em vãos pequenos. Devido ao ângulo muito agudo junto à cumeeira, apresenta grandes esforços nas barras e detalhes construtivos desfavoráveis nos apoios.

As tesouras de cordas paralelas são empregadas principalmente em sheds e tesouras atirantadas. As tesouras atirantadas usuais são retas ou em arco de círculo.

Figura 51
TESOURAS TRELIÇADAS
Triangular
Trapezoidal
Parabólica
Circular

Figura 52
TESOURAS ATIRANTADAS
Tesoura atirantada
com cordas retas
Tirante
Pendural
Tesoura atirantada ciracular

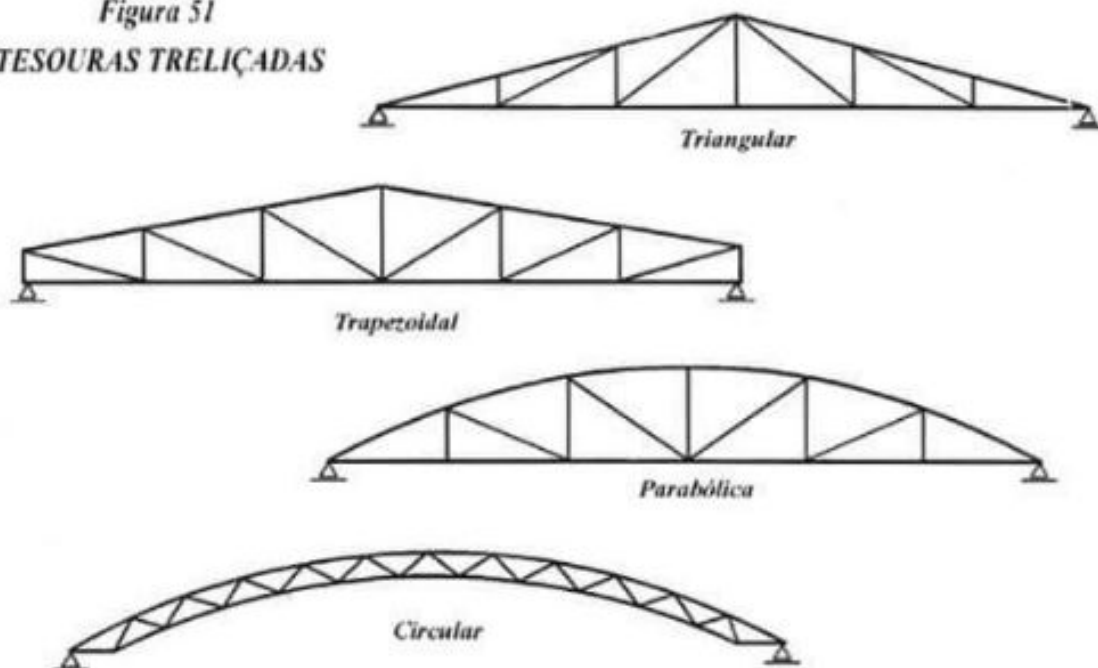
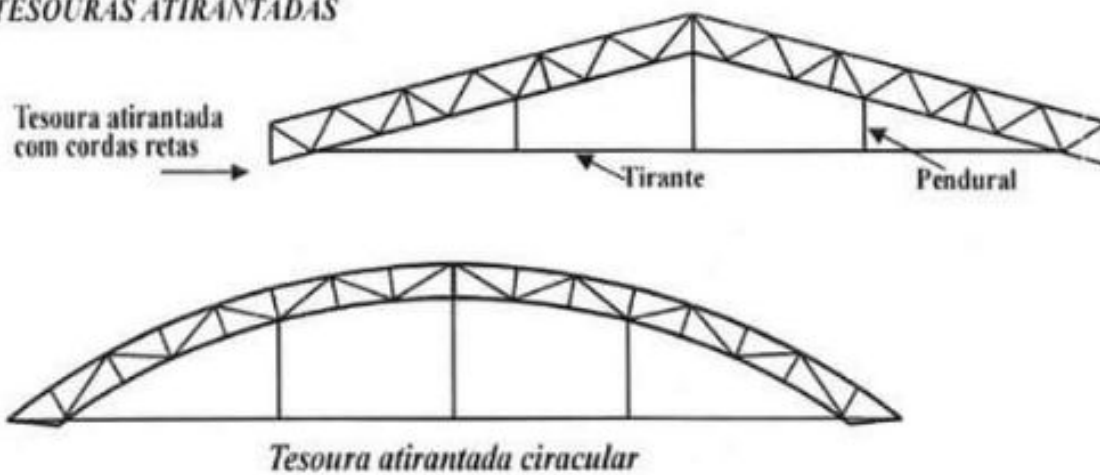



Figura 53
TESOURAS
DE ALMA
CHEIA COM
ALTURA
VARIÁVEL
30000

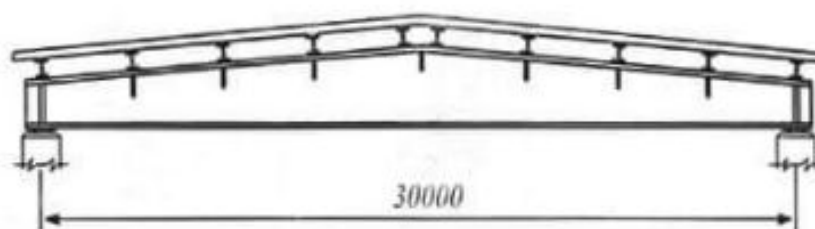



Figura 52 - Tesouras atirantadas

Nas tesouras treliçadas, rotuladas ou engastadas nas colunas, ocorrem problemas de estabilidade na corda inferior nos trechos comprimidos, que não contam com os pontos de apoio lateral das terças. Nessas tesouras é conveniente o emprego de terças com mão-francesa, ligando a terça à corda inferior, de modo a garantir a estabilidade dessa corda.

Figura 53 – Tesouras de Alma Cheia

As principais vantagens das tesouras de alma cheia são seu aspecto estético, pequena altura, facilidade de limpeza, pintura e conservação.

Tesouras de perfis laminados a quente só são empregadas em vãos menores, onde são econômicamente mais favoráveis. Para vãos maiores, empregam-se perfis soldados, com os quais se conseguem pesos mais reduzidos. O menor peso com uma tesoura soldada é conseguido através de variação da altura.

Também para tesouras de alma cheia pode ser econômico o emprego de tirantes.

A **figura 54** indica os momentos em uma tesoura atirantada.

No caso de ser a tesoura simplesmente apoiada, sem tirantes, os momentos serão aproximadamente o dobro dos ocorrentes na tesoura atirantada.

Lanternins

Os lanternins têm a finalidade de possibilitar a ventilação e a iluminação natural dos galpões.

Basicamente, são empregados lanternins transversais e lanternins longitudinais, esses usados com mais freqüência no País.

Figura 55 – Lanternim Longitudinal

Figura 56 – Lanternins Transversais

Nos países de clima tropical, não se usam lanternins com faixas de iluminação no plano da cobertura, para evitar a incidência direta dos raios solares.

Nas estruturas em shed, o lanternim fica localizado na face vertical.

Excepcionalmente, nesse tipo de estrutura, empregam-se lanternins de auto-exaustão.

Nos galpões onde há fontes de calor, como é o caso de usinas siderúrgicas, fundições etc., é comum o emprego de lanternins de auto-exaustão. São lanternins que, devido à sua forma, criam efeito de lareira que produz, na parte superior do galpão, uma zona de alta pressão que, mesmo em presença de vento, favorece a exaustão natural do ar quente. É imprescindível a existência de tomada de ar na parte inferior.

DIFERENTES FORMAS DE TESOURAS

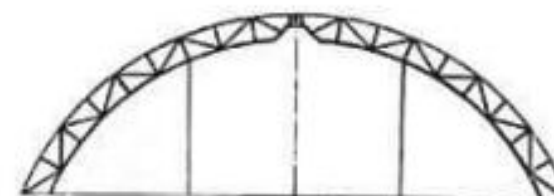
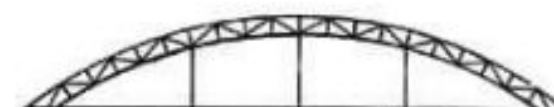
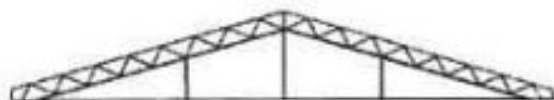
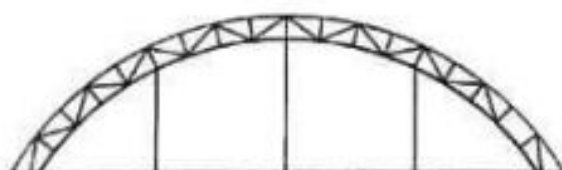
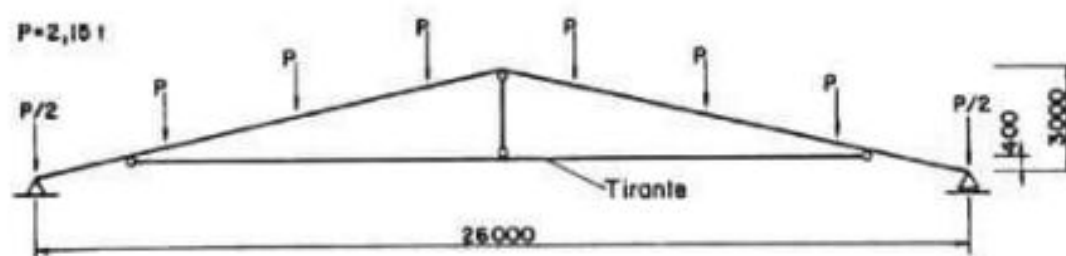
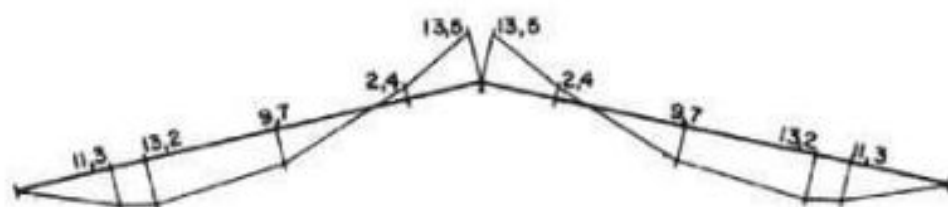
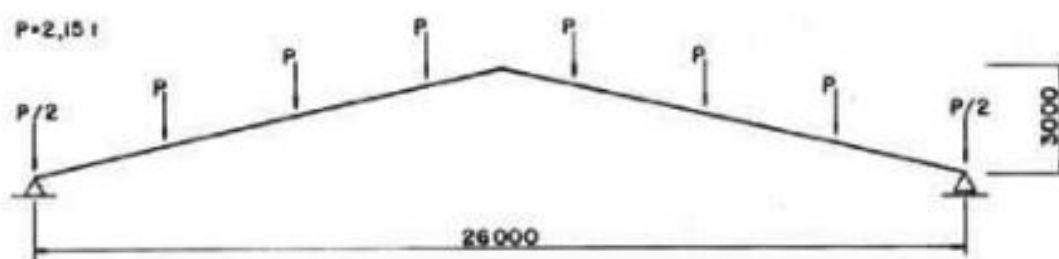
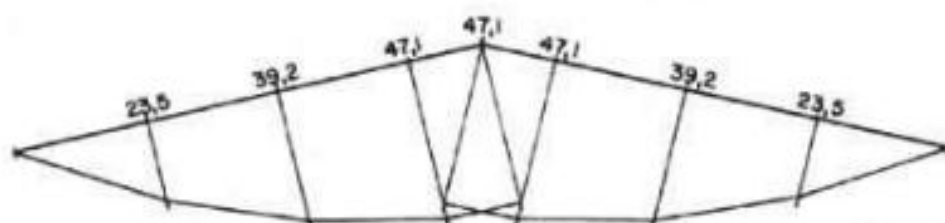
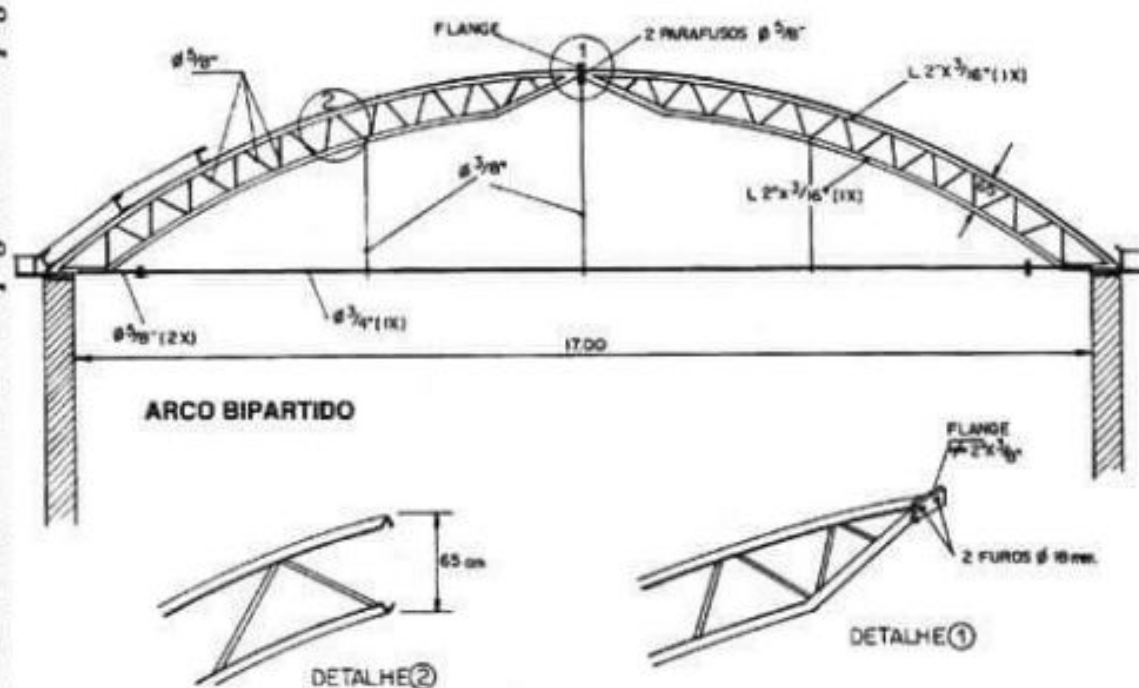
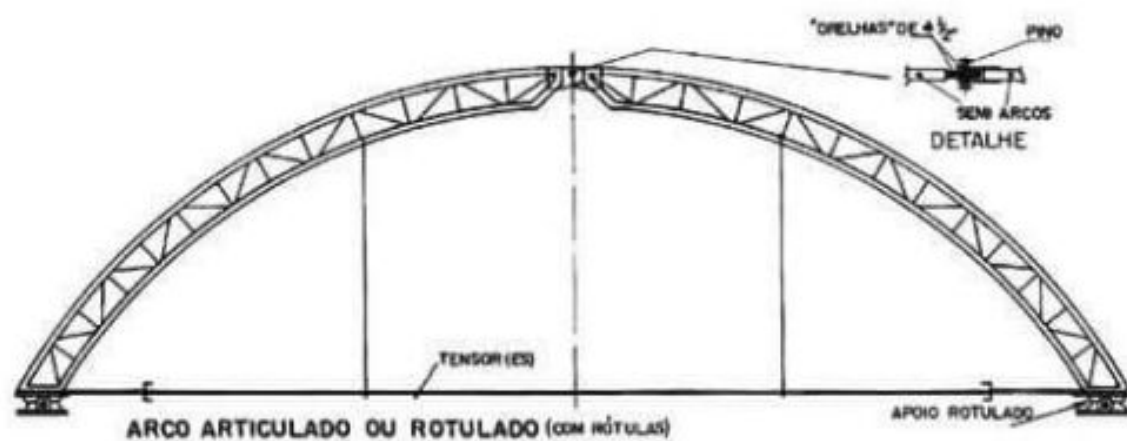
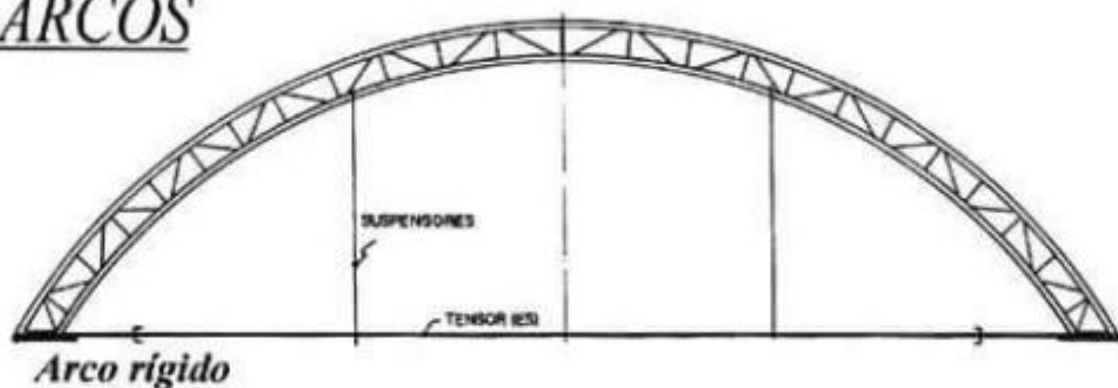



Figura 54 - COMPARAÇÃO DE MOMENTOS FLETORES EM UMA TESOURA COM E SEM TIRANTES

a) Esquema estático e cargas

b) Diagrama de momentos (em tm)

c) Esquema estático e cargas

d) Diagrama de momentos (em tm)

Os desenhos das páginas 11 a 33
são de autoria do projetista:
ELOY MENEZES PEREIRA (In memoriam)

Meia TESOURA

Meia TESOURA (SHED)

TERÇAS

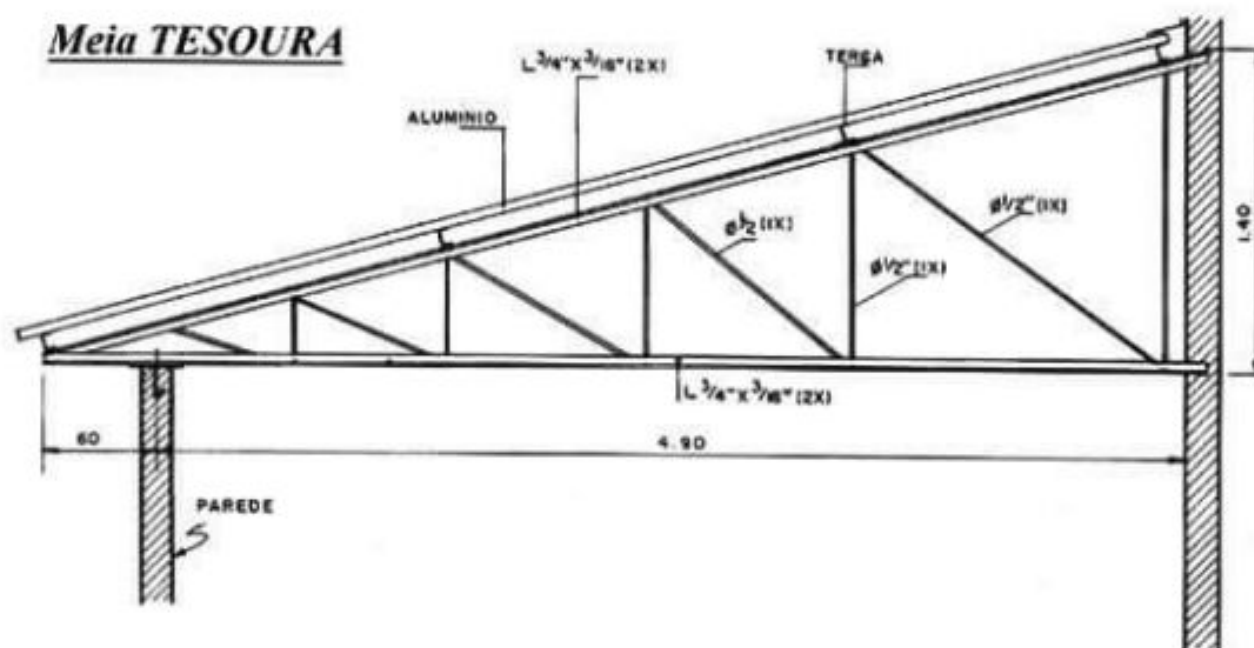
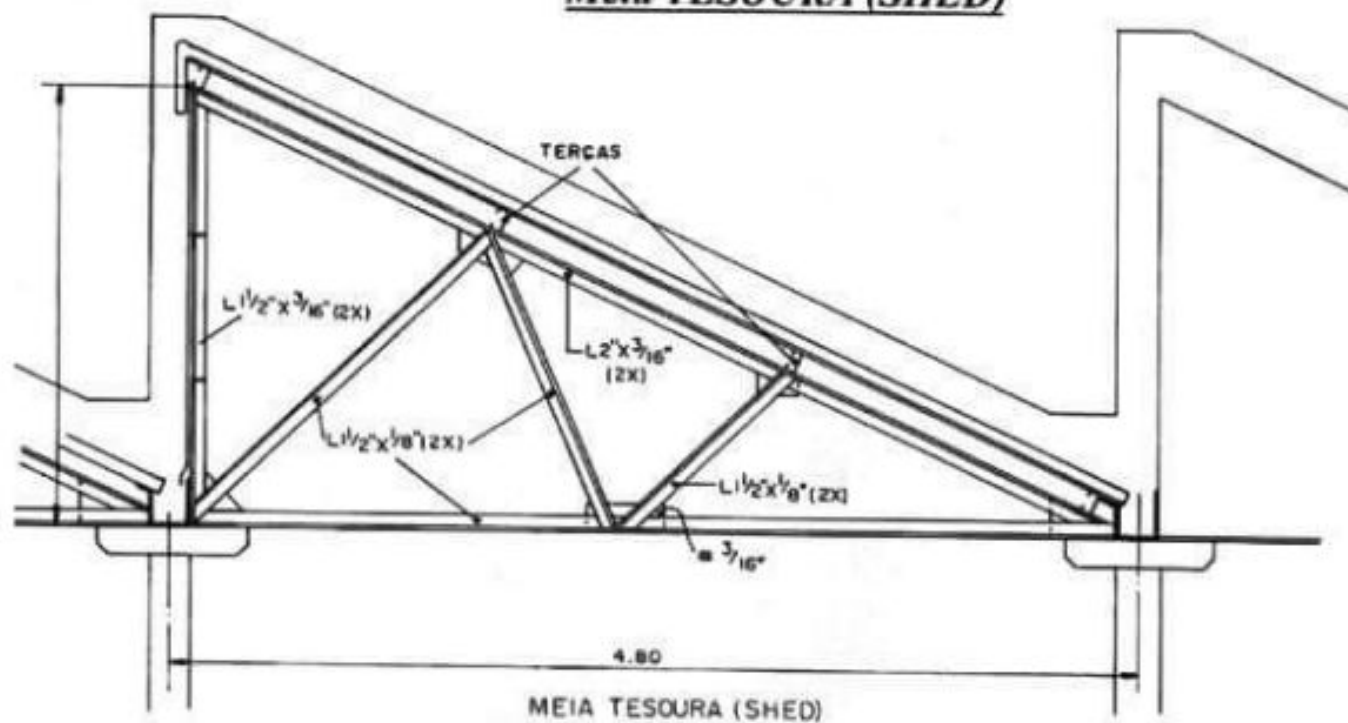
L 1 1/2" x 3/16" (2X)

L 2" x 3/16" (2X)

L 1 1/2" x 1/8" (2X)

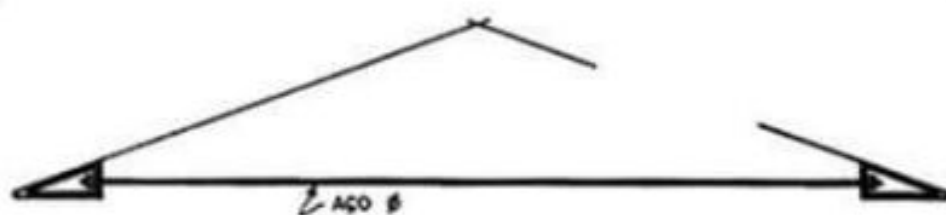
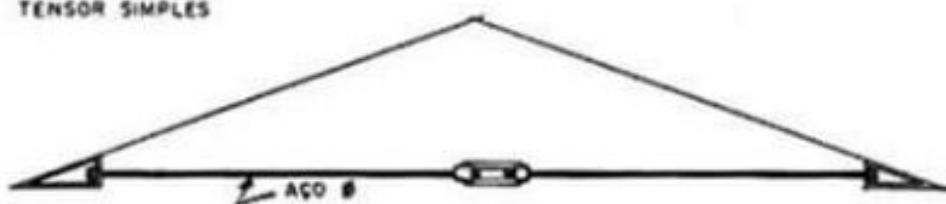
L 1 1/2" x 1/8" (2X)

ø 3/16"

4.80

MEIA TESOURA (SHED)

DIFERENTES TIPOS DE TIRANTES TENSORES

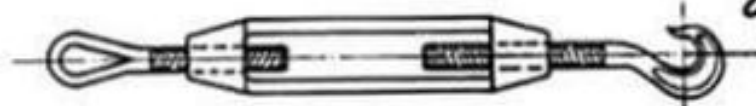
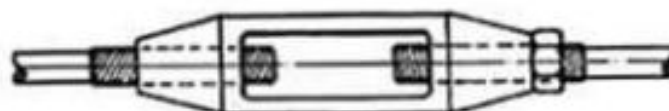
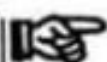
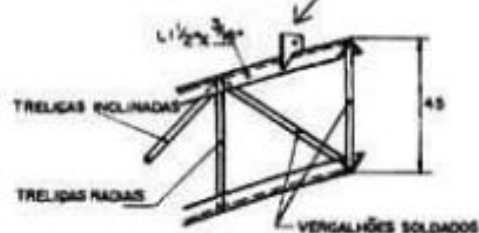
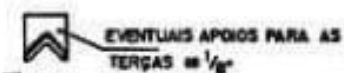
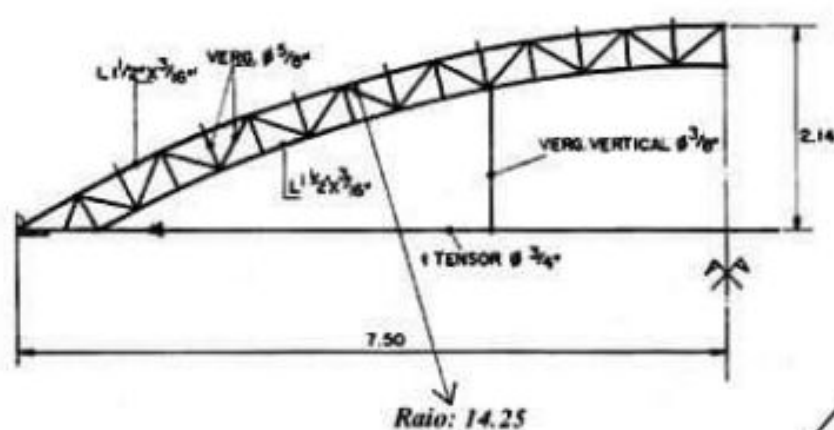
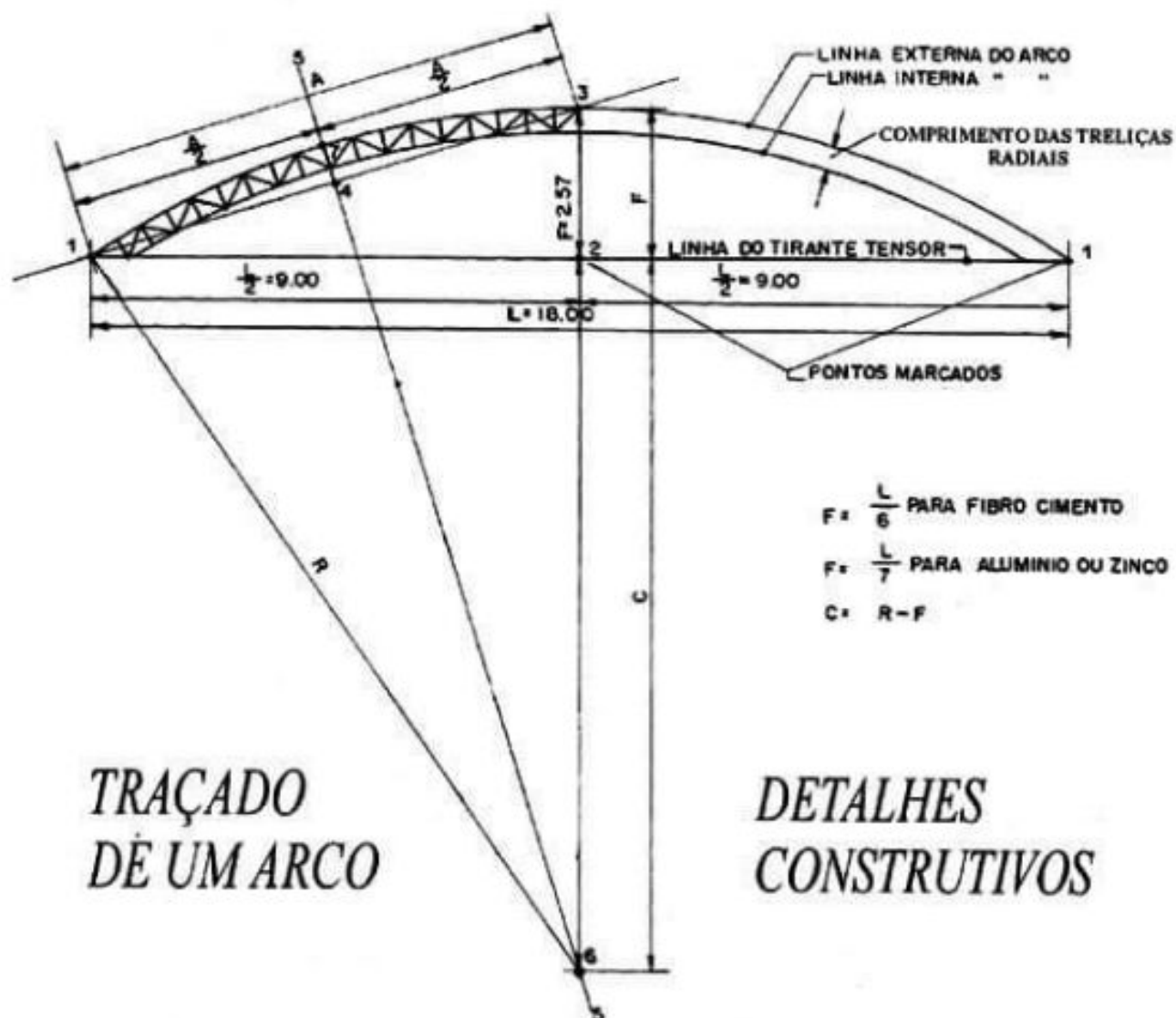
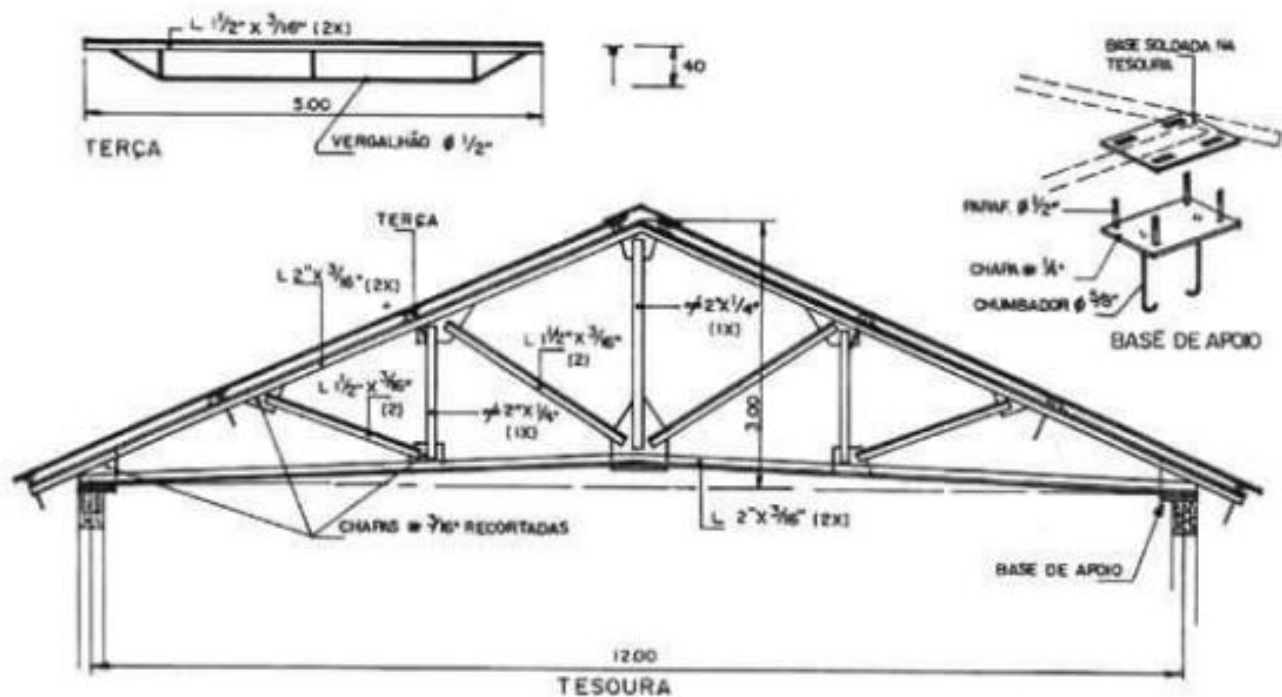
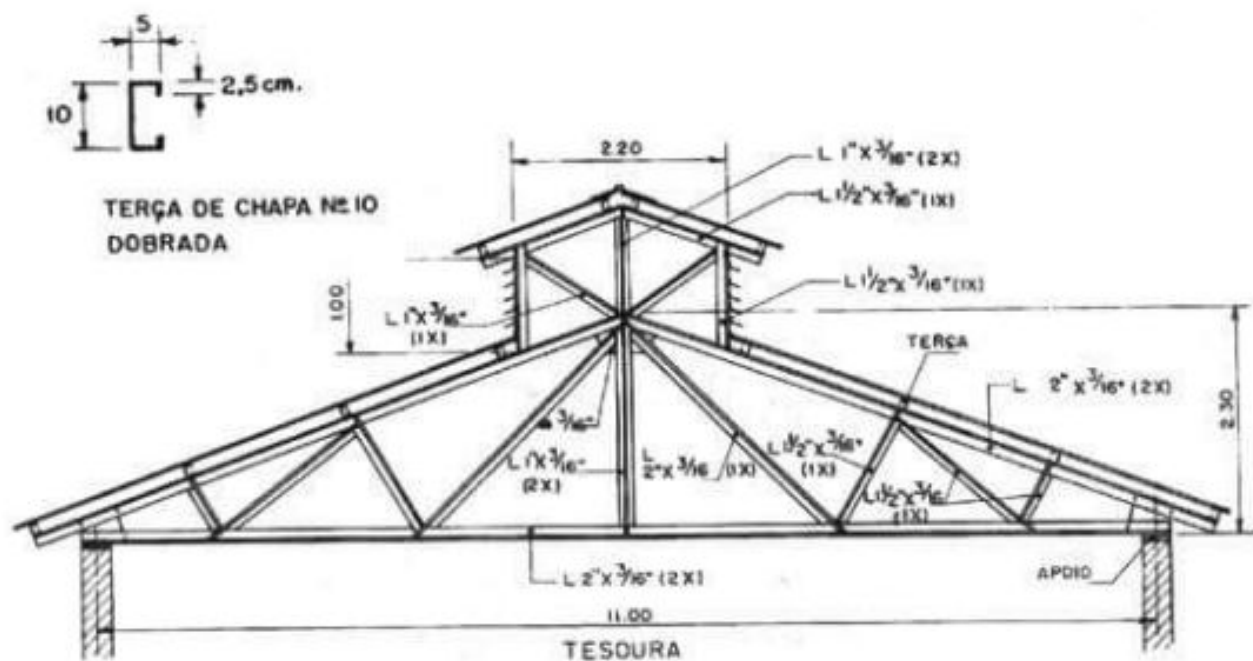
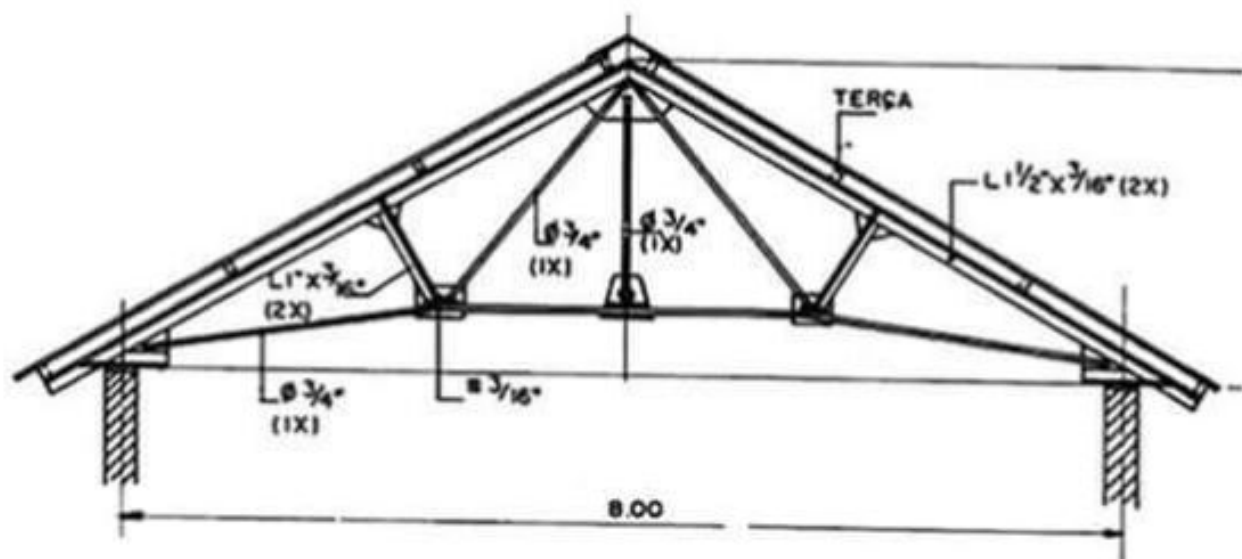
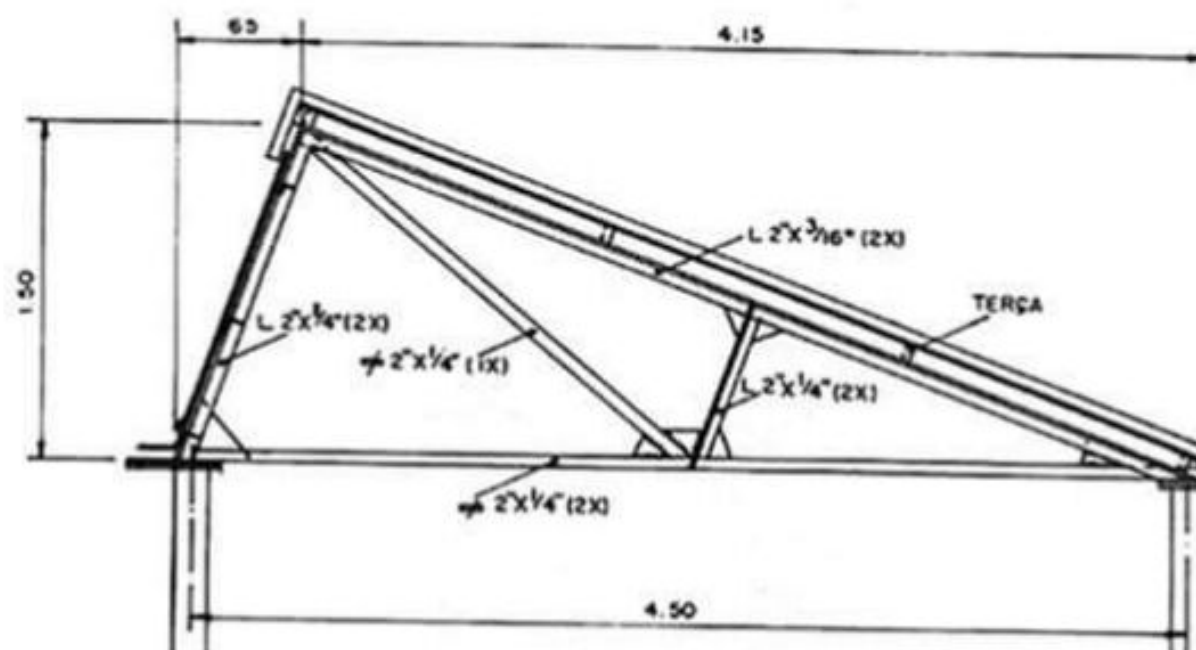
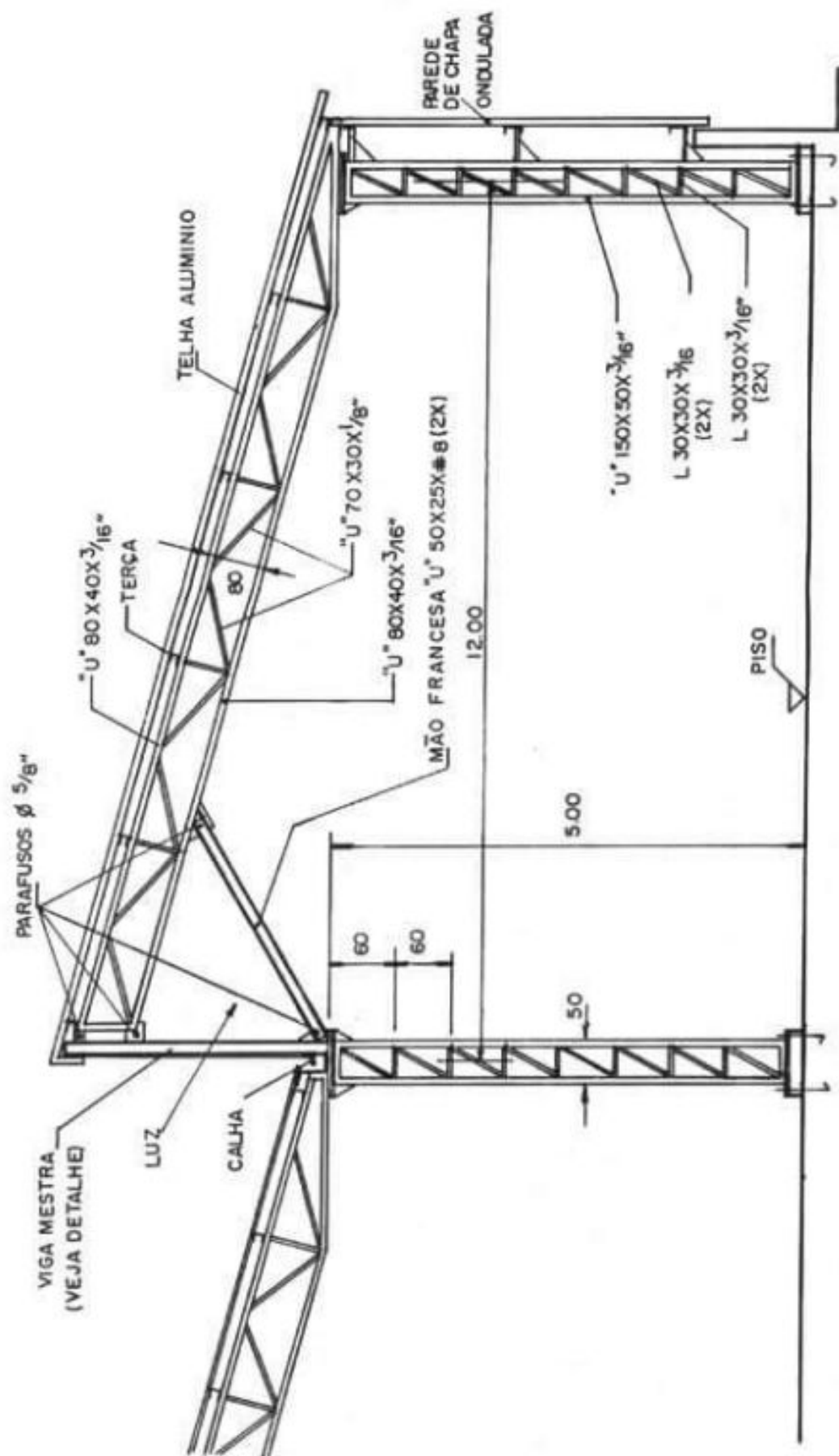
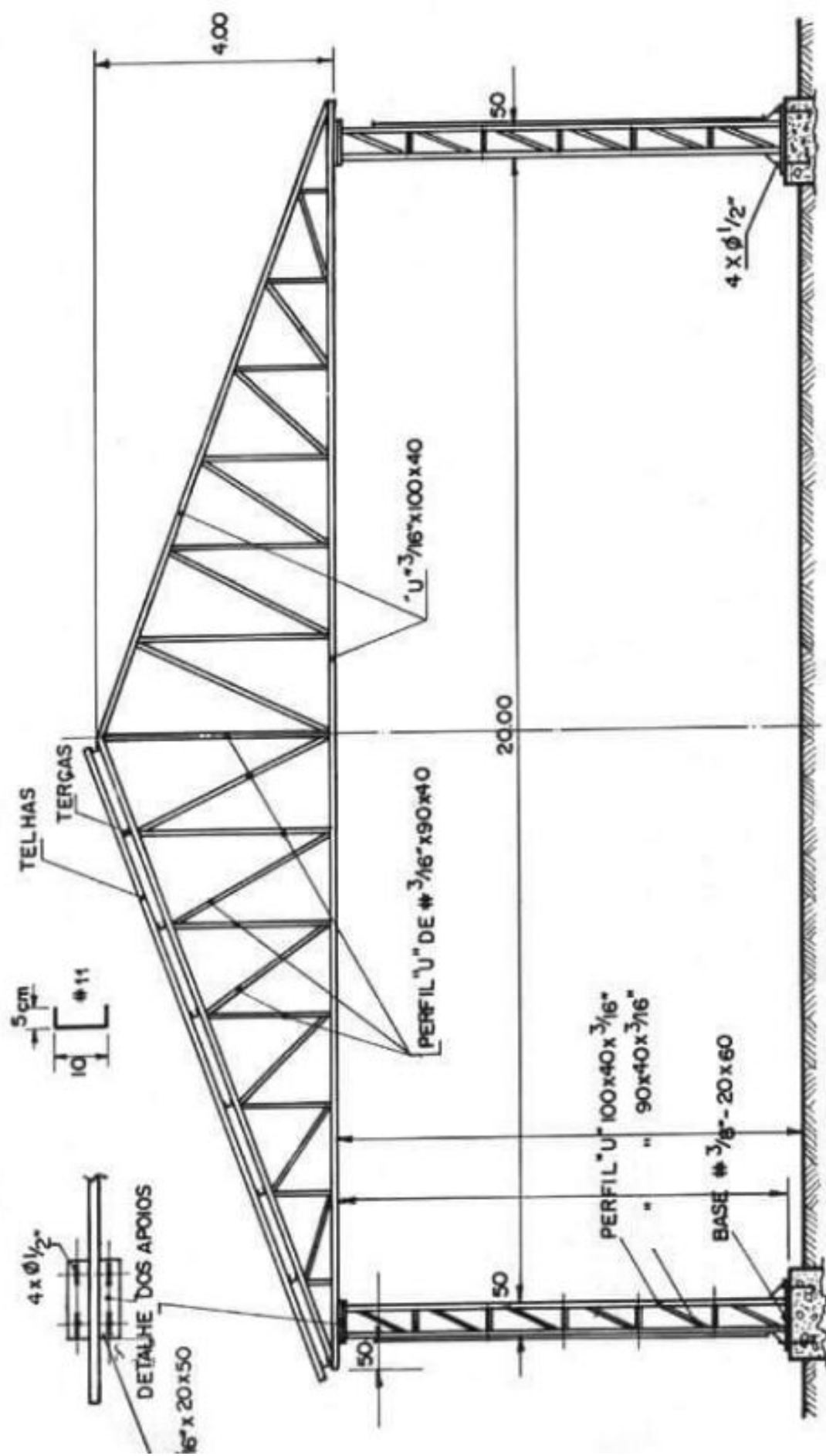
AÇO Ø

TENSOR SIMPLES

AÇO Ø

TENSOR SIMPLES C/ESTICADOR CENTRAL

TENSOR DE FERRO CHATO (NÃO RECOMENDAVEL)

TENSOR DUPLO

TENSOR DUPLO C/ESTICADOR CENTRAL

LINHA EXTERNA DO ARCO
LINHA INTERNA " "
COMPRIMENTO DAS TRELIÇAS RADIAIS
LINHA DO TIRANTE TENSOR
L/2 = 9.00
L/2 = 9.00
L = 18.00
F = 2.57
PONTOS MARCADOS
F = L/6 PARA FIBRO CIMENTO
F = L/7 PARA ALUMINIO OU ZINCO
C = R – F
TRAÇADO DE UM ARCO
DETALHES CONSTRUTIVOS
VERG. VERTICAL
2.14
1 TENSOR
7.50
Raio: 14.25
PERFIL DO ARCO
EVENTUAIS APOIOS PARA AS TERÇAS
Detalhe construtivo de um ARCO
TRELIÇAS INCLINADAS
TRELIÇAS RADIAIS
VERGALHÕES SOLDADOS

DETALHE CONSTRUTIVO DE TESOURAS, COM E SEM LANTERNIN

DETALHE CONSTRUTIVO DE TESOURA P/ 8,00 m de VÃO e MEIA-TESOURA de 4.50 m de VÃO PARA SHED

COBERTURA TIPO "SHED"

DETALHE DA ESTRUTURA DO PAVILHÃO PARA OFICINA

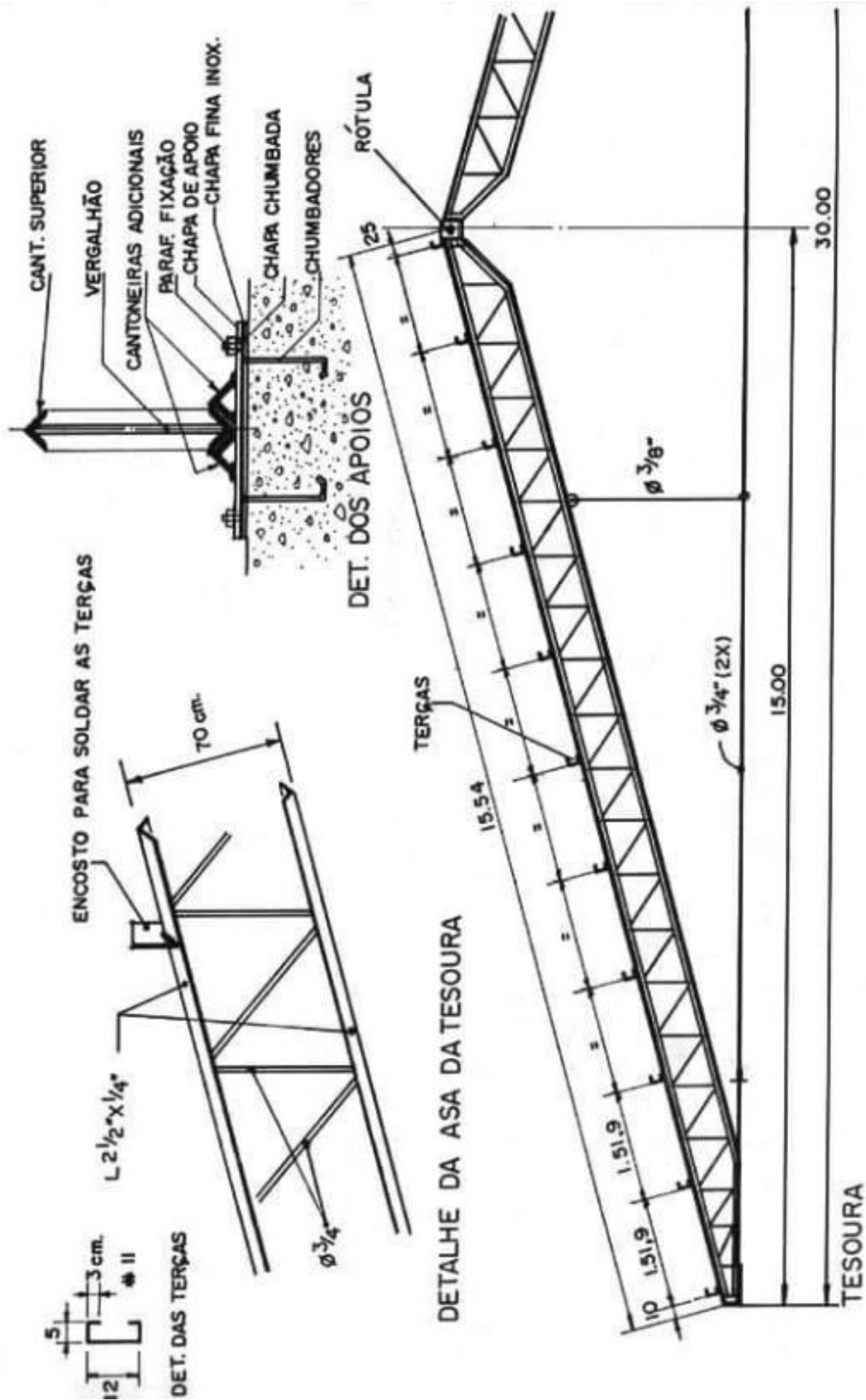
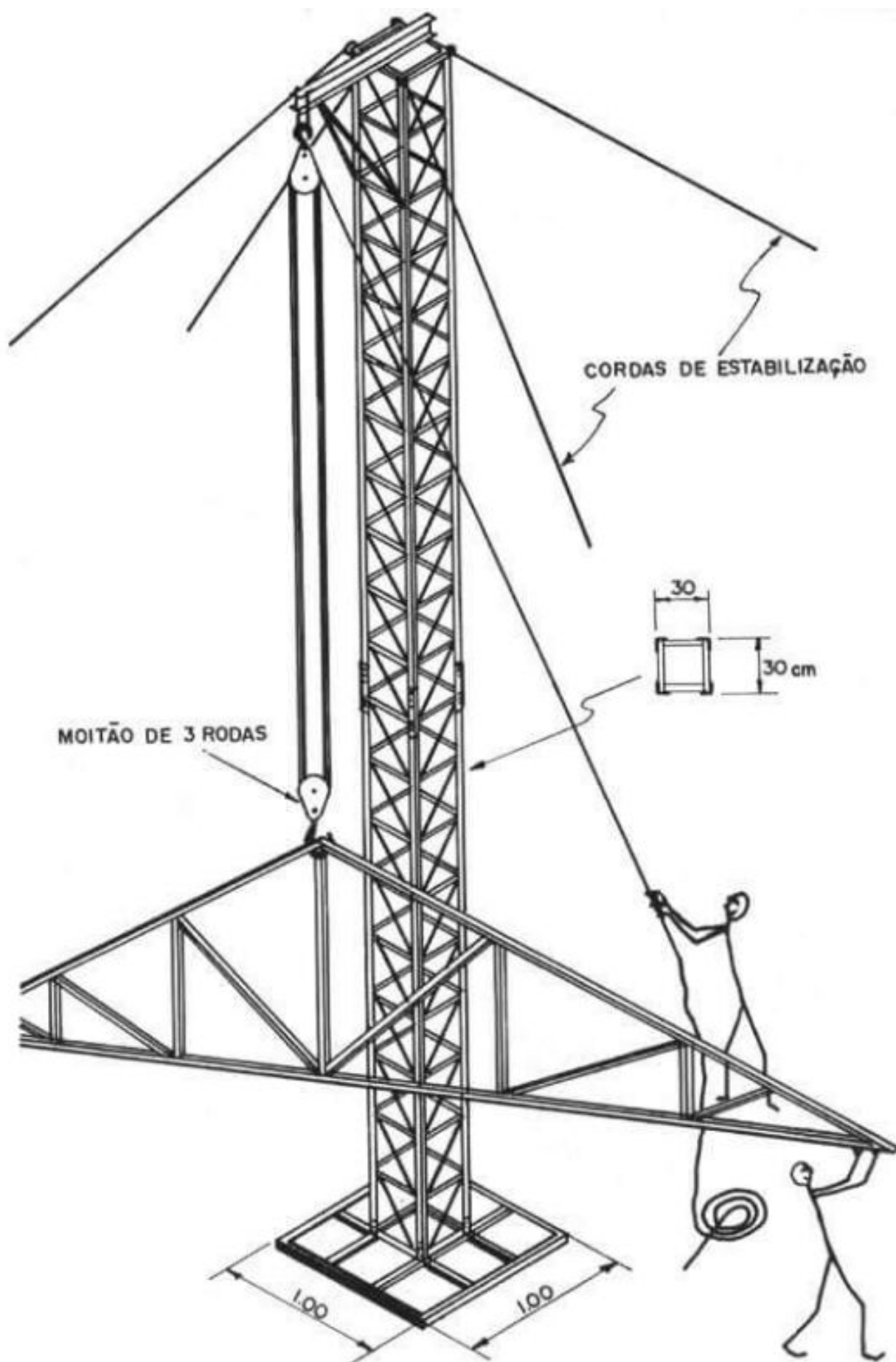
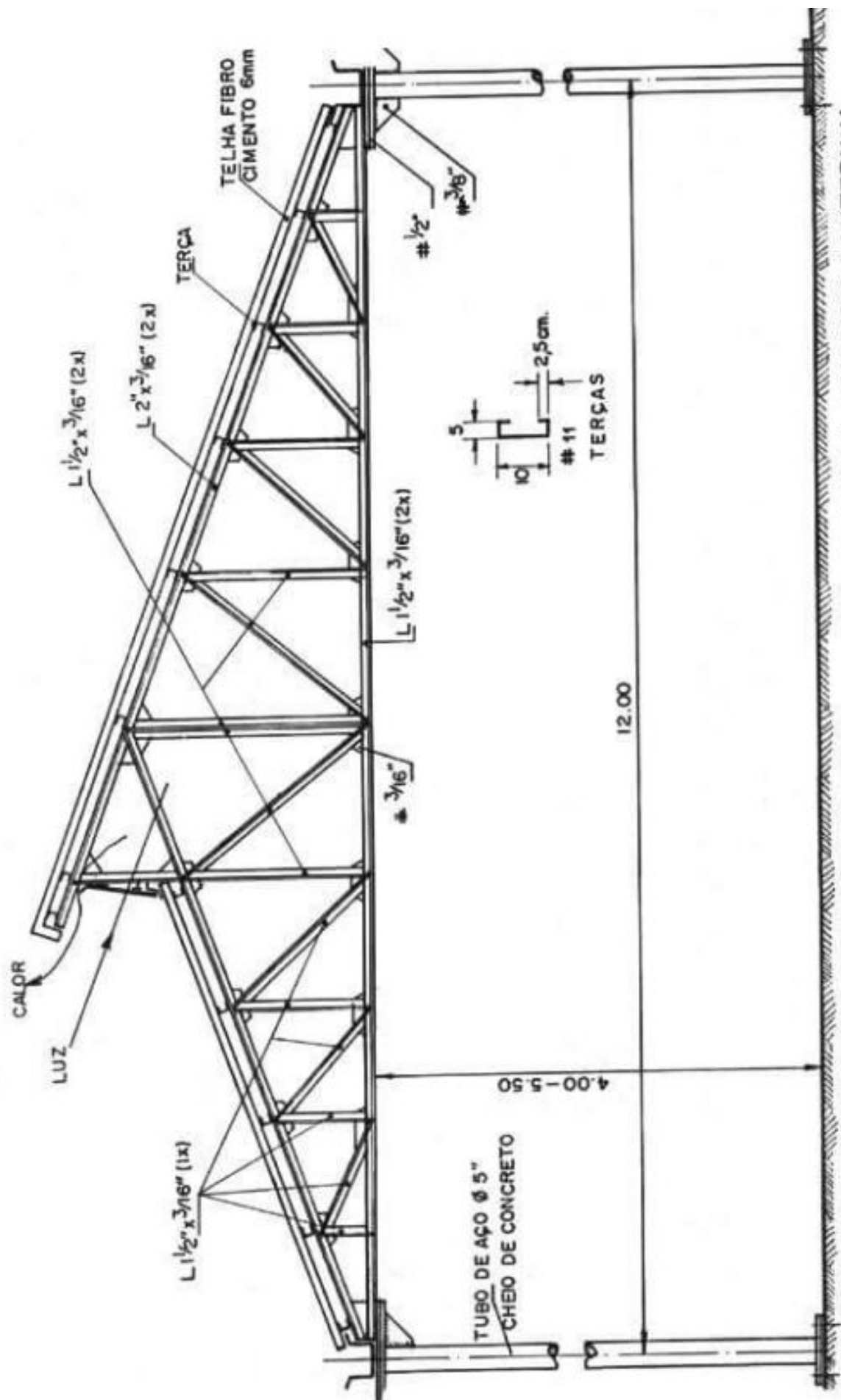
PLANTA DA ESTRUTURA DE UMA COBERTURA EM QUATRO AGUAS.

PLANTA DA ESTRUTURA DE UMA COBERTURA EM QUATRO AGUAS.

5 cm
#11
3
DETALHE DAS TERÇAS
20
15
ø 3/4" (2x)
ø 3/4" (2x)
L 2 1/2" x 1/4" (2x)
± 2.00
DETALHE DOS TENSORES
L 2 1/2" x 1/4" (2x)
TERÇA
TELHAS FIBROCIMENTO
65
ø 3/4" (1x)
1/4"
SUSP. ø 3/8" (1X)
20cm.
TENSORES ø 3/4" (2x)
APOIO
24.00
TESOURA
3/8"
15
ø 1/2"
1/2"
DETALHE DOS APOIOS
L 2 1/2" x 1/4" (2x)
65 cm.
ø 3/4" (1X)
1/4"
DETALHE DA ASA DA TESOURA

TELHA
TERÇA
5.90
TESOURA
L 1 1/2" x 3/16" (2x)
VIGA MESTRA
50
L 1 1/2" x 3/16" (1x)
L 1 1/2" x 3/16" (2x)
L 1 1/2" x 3/16" (2 x)
L 1 1/2" x 3/16" (1x) Ⓐ
1.50
8.00
1.50
11.00
L 1 1/4" x 3/16" (4x)
Ø 1/2"
4.00
5 cm
12
#11
DETALHE DA TERÇAS
TESOURA E COLUNAS
L 1 1/4" x 3/16" (2x)
Ø 1/2"
TESOURAS
NB. AS PEÇAS Ⓐ DEVEM SER COLOCADAS NA MONTAGEM.
50
PERFIL
6.00
L 1 1/2" x 3/16" (2x)
COLUNAS
VIGA MÉSTRA

L 1 1/2" x 3/16" (2X)
VERGALHÃO ø 3/8"
TESOURAS
50
PERFIL
1.18,5
1.18,5
1.19
1.19
1.19
1.19
1.18,5
1.18,5
9.50
VIGA MESTRA E COLUNA
L 1 1/2" x 3/16" (2X)
3.60
ø 3/8"
L 1 1/2" x 3/16"
(4X)
36 36
1/4"
35
1.84,5
TERÇA
L 1 1/2 x 3/16" (2X)
1.83
~7.85
TELHAS DE FIBROCIMENTO 6mm.
1.83
1.84,5
15
2.00
L 1" x 3/16"
(1x)
(1x)
L 1" x 3/16"
L 1 x 3/16"
(1x)
3/16"
L 1 1/2" x 3/16" (1 X)
ALVENARIA
VIGA MESTRA
1.50
CONTRAVENTOS
ADICIONAIS
7.65
TESOURA
40
30
30
40
4 ø 1/2"
BASE DA COLUNA
4
12
2,5 cm.
DETALHE DAS TERÇAS
N=12
DETALHES DA ESTRUTURA
DE ABRIGO P/ AUTOMOVEIS

5
12
3 cm.
11
DET. DAS TERÇAS
L 2 1/2" X 1/4"
ENCOSTO PARA SOLDAR AS TERÇAS
70 cm.
Ø 3/4"
DETALHE DA ASA DA TESOURA
CANT. SUPERIOR
VERGALHÃO
CANTONEIRAS ADICIONAIS
PARAF. FIXAÇÃO
CHAPA DE APOIO
CHAPA FINA INOX.
CHAPA CHUMBADA
CHUMBADORES
DET. DOS APOIOS
25
RÓTULA
TERÇAS
15.54
10
1.51,9
1.51,9
Ø 3/8"
Ø 3/4" (2X)
15.00
30.00
TESOURA

TORRE DE IÇAR

TESOURA COM MEIO LANTERNIM

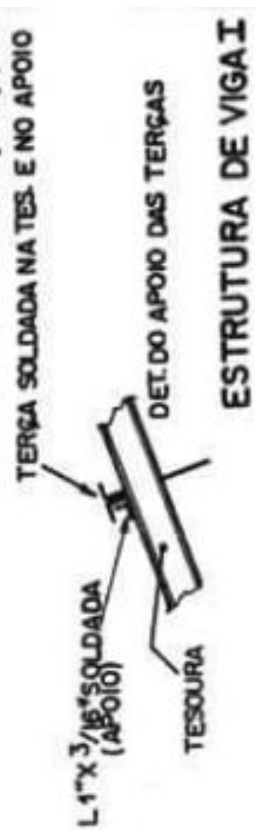
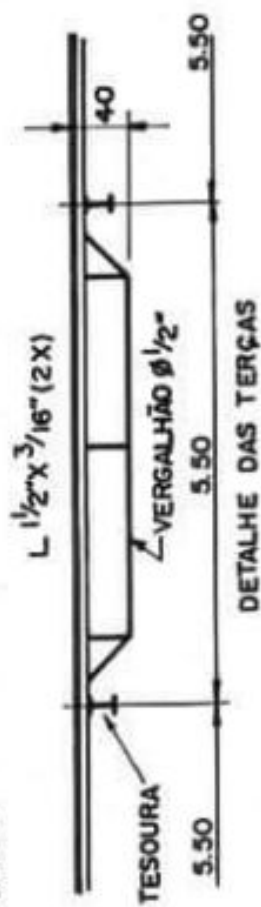
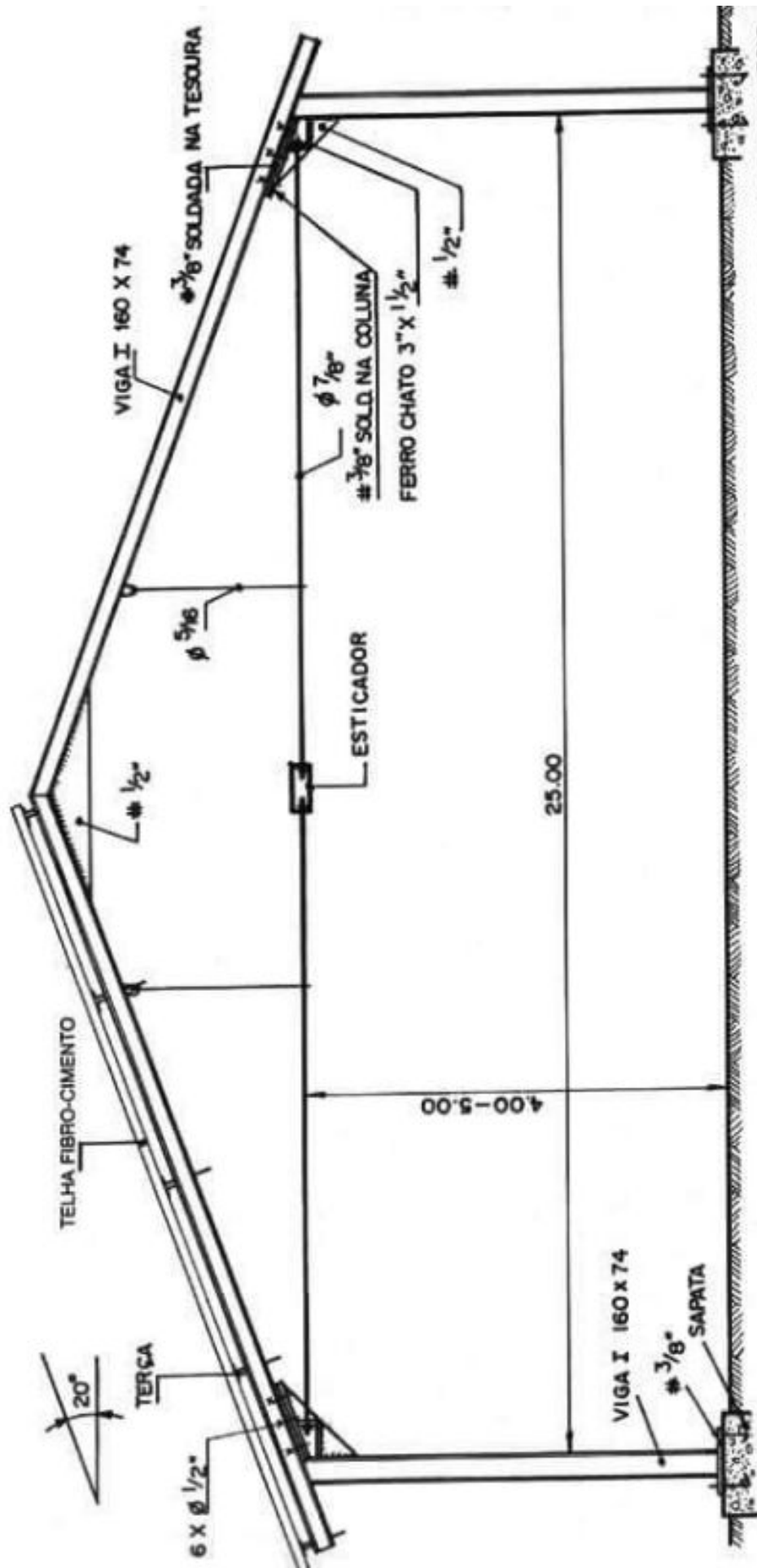
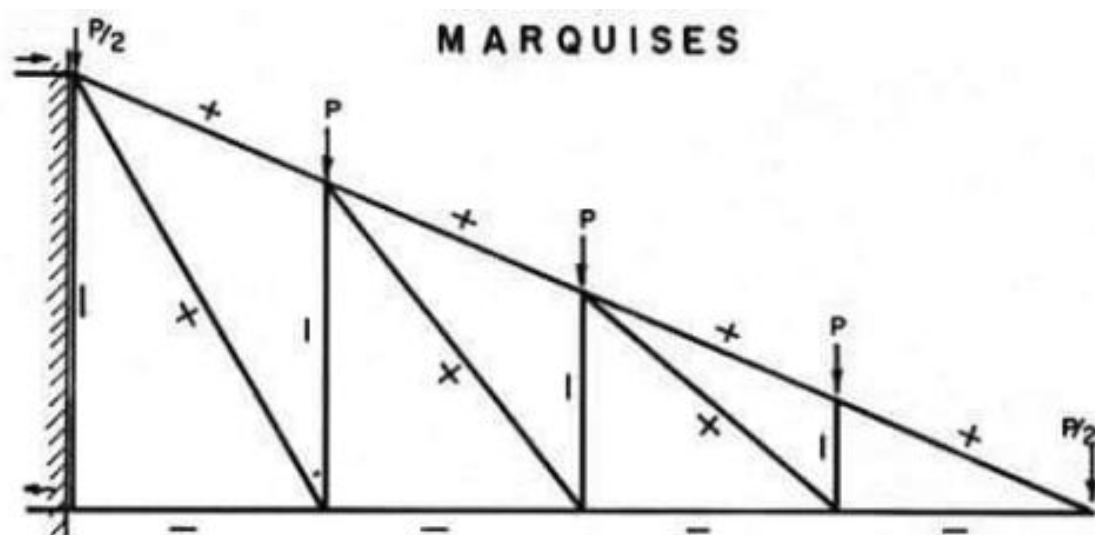
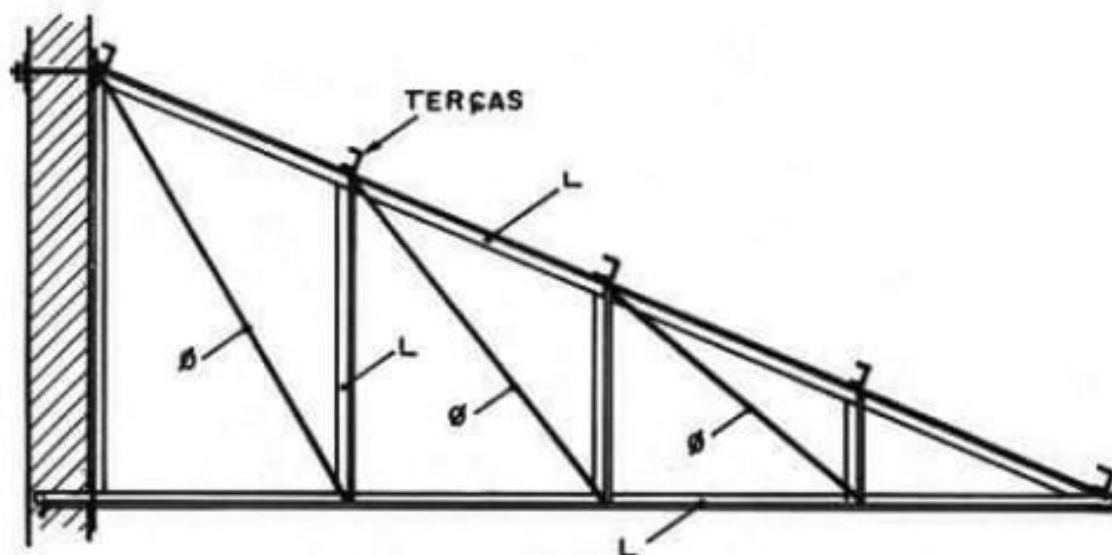
ESTRUTURA DE VIGA I

MARQUISES

GRÁFICO COM AS REAÇÕES (ESFORÇOS)

DETALHES CONSTRUTIVOS

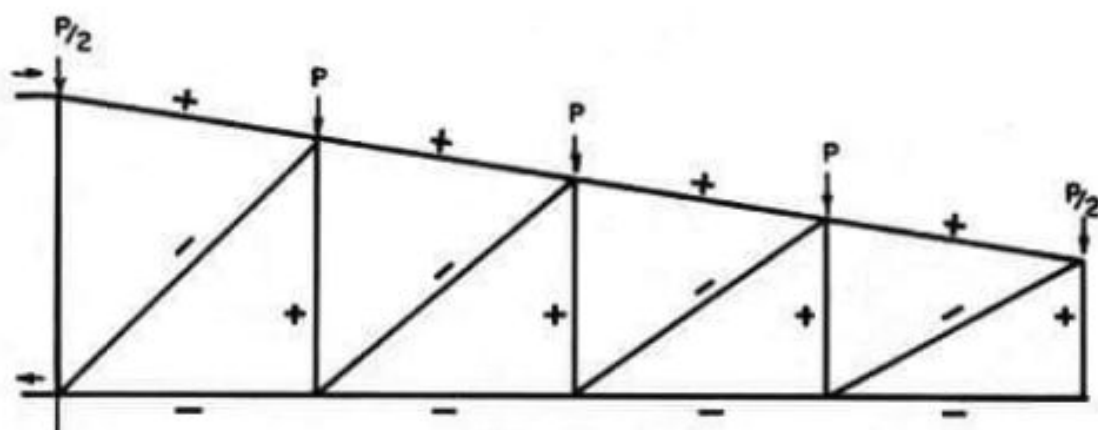
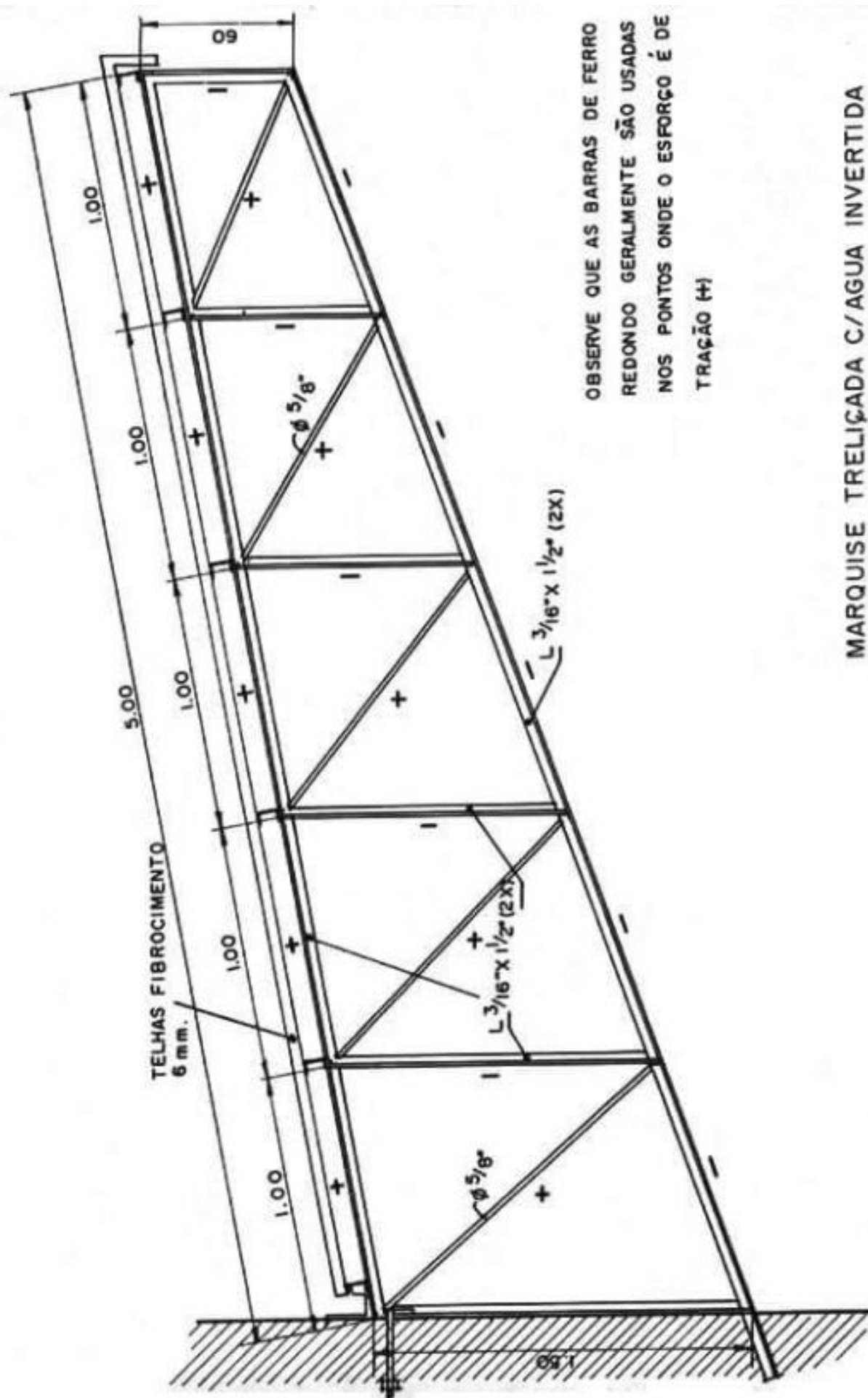



GRAFICO COM AS REACÕES

MARQUISE TRELIÇADA C/AGUA INVERTIDA

CHAPA RECORTADA 3X100X600mm.
GUARDA-CORPO
1.95
60
3.90
40
Ø 50
TUBO Ø 3/4"
PEÇA "D"
COLUNA Ø 1 1/4"
TUBO Ø 1 1/4"
PÉÇA "C"
40
"A"
TUBO Ø 50
22,5
1.95
Ø 3/4"
L = 25cm
±29
COLUNA Ø 1 1/4"
PÉÇA "A"
30
"PÉ" # 1/8" – 10X10 cm.
+– 1.42
PEÇA "B"
ARQUIBANCADA VISTA DE LADO
PEÇA "E"
± 67
DEGRAU VISTO DE FRENTE
PONTA INTERNA POSTIÇA P/GUIA
TUBO Ø 1 1/4"
CHAPA 3mm
TUBO Ø 3/4" X 25 cm
PONTOS SOLDA
TUBO Ø 3/4" X 60 cm
DETALHE
PARAF. PRISIONEIROS Ø 3/8"
10cm.
DETALHE "A"
FERRO CHATO 1/4" X 1" (2X)
ABRAÇADEIRA DE FERRO ≠ 5/16" X 1 1/2"
DETALHE

COMPONENTES DA ARQUIBANCADA
2.50
TUBO ø 1 1/4"
2.60
PÊÇA "A"
5.00
15
PORCA SOLDADA NO TUBO, ø 3/8"
TUBO ø 1 1/4"
PEÇA "E" E "B"
PARAF. ø 1/2"
TUBO ø 1 1/4"
5/16" X 1 1/2"
DETALHE
1.30
40
3.30
82
TUBO ø 3/4"
85
GUARDA CORPO LATERAL
2.70
TUBO ø 1 1/4"
PEÇAS "C" E "D"

DETALHE GUARDA-CORPO

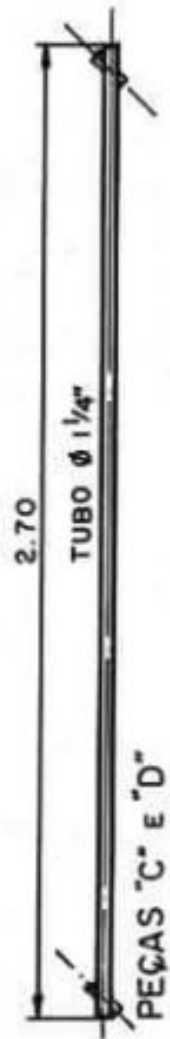
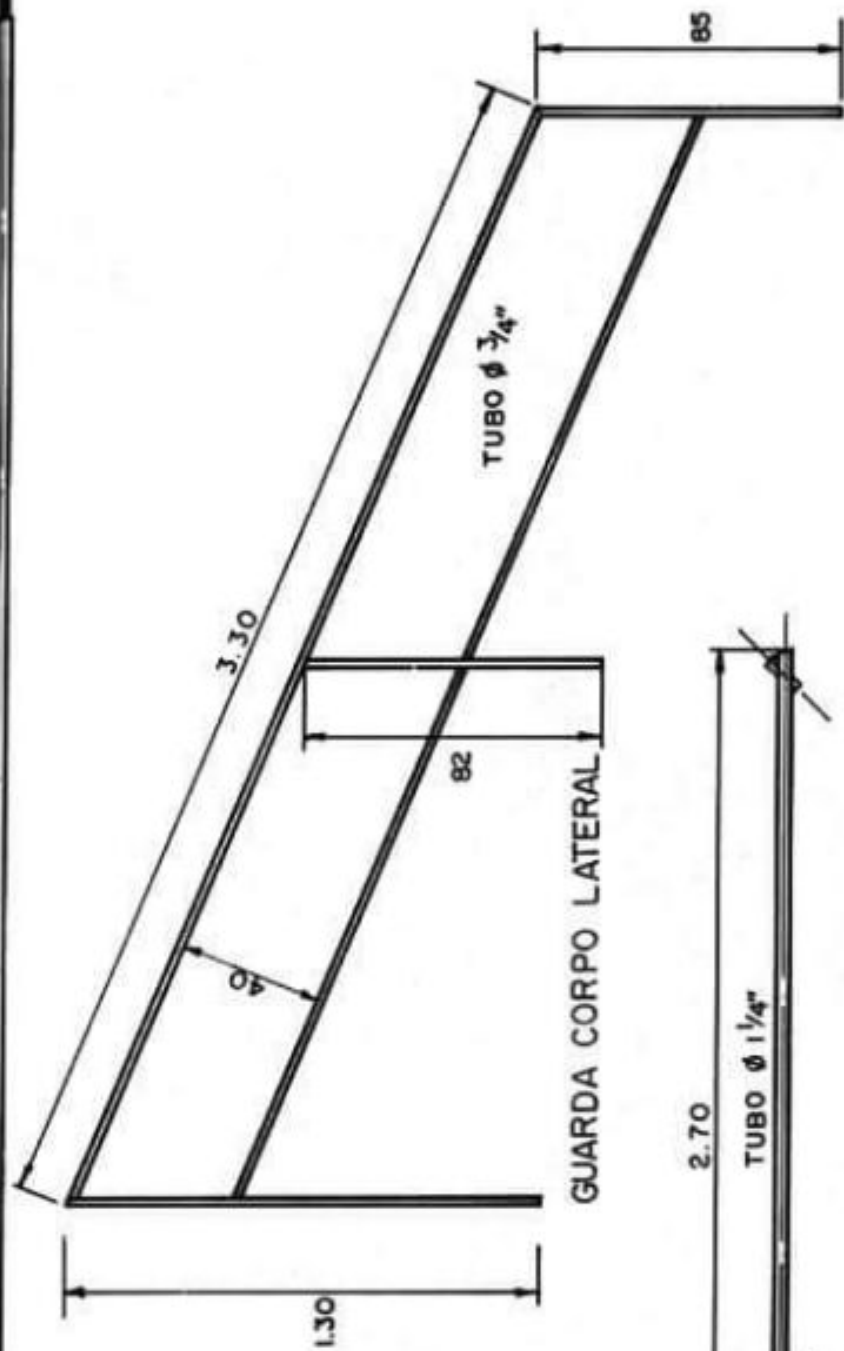
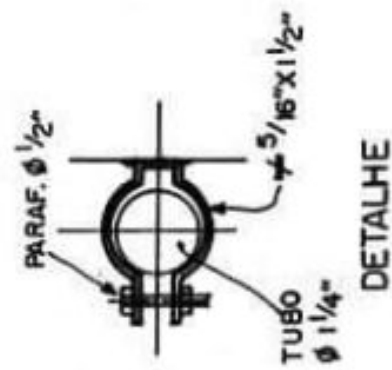
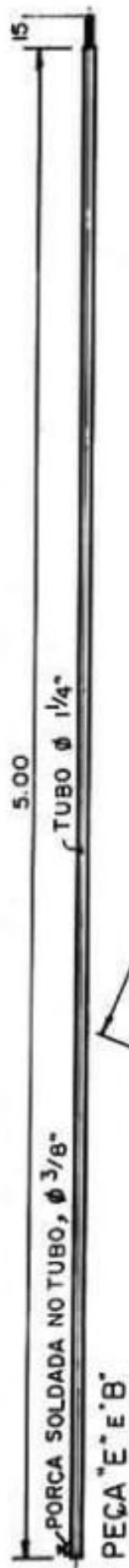
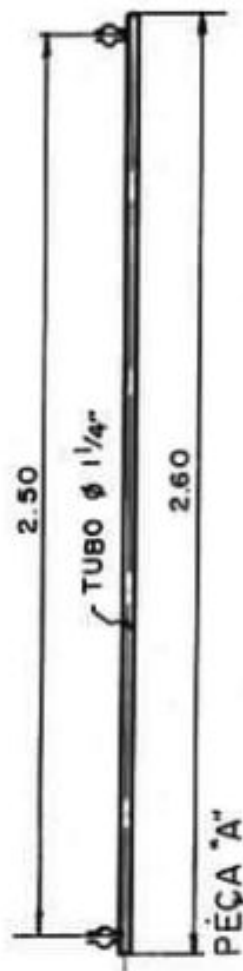
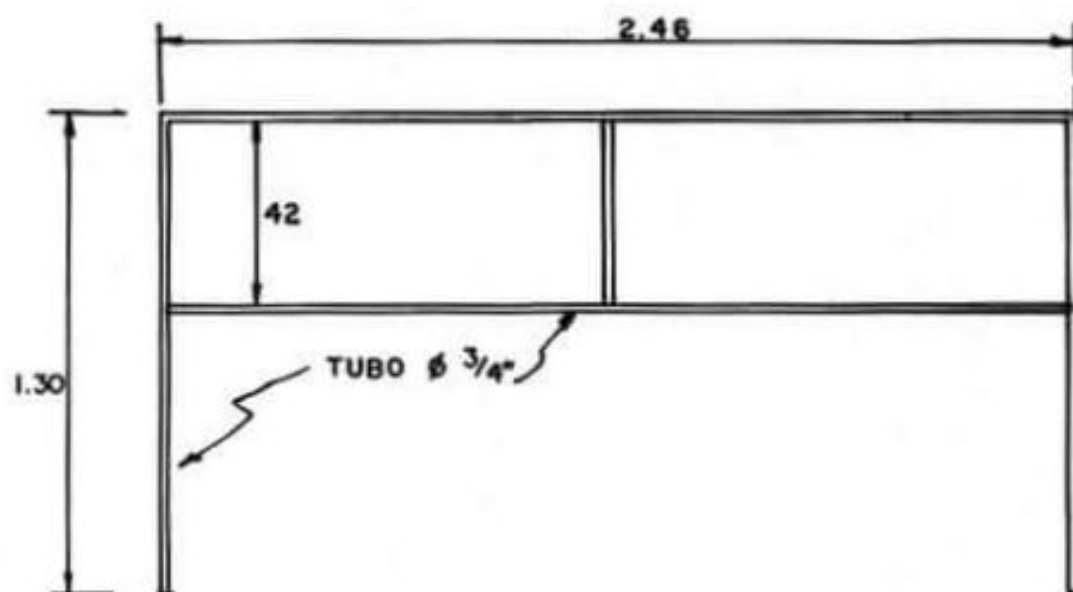
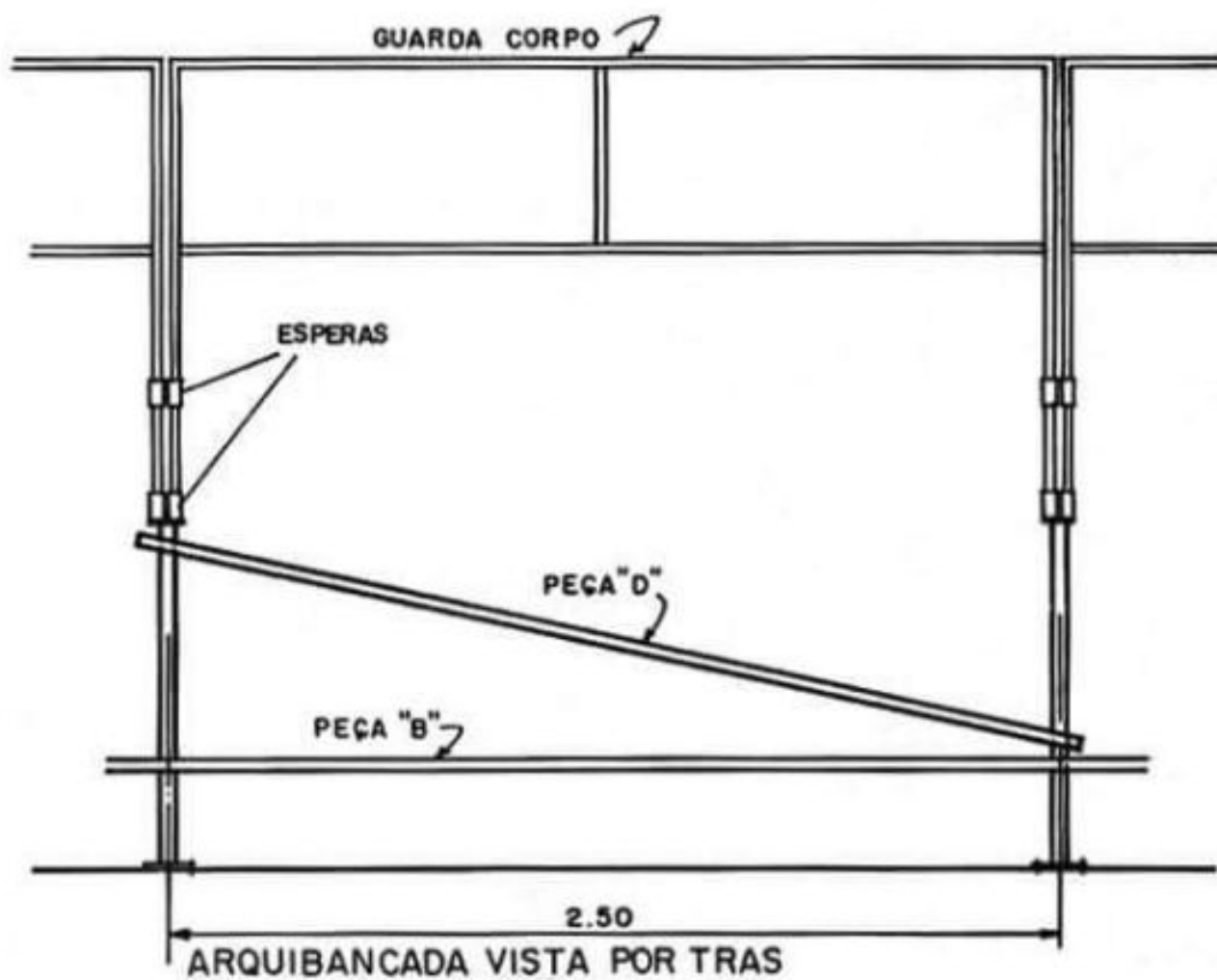
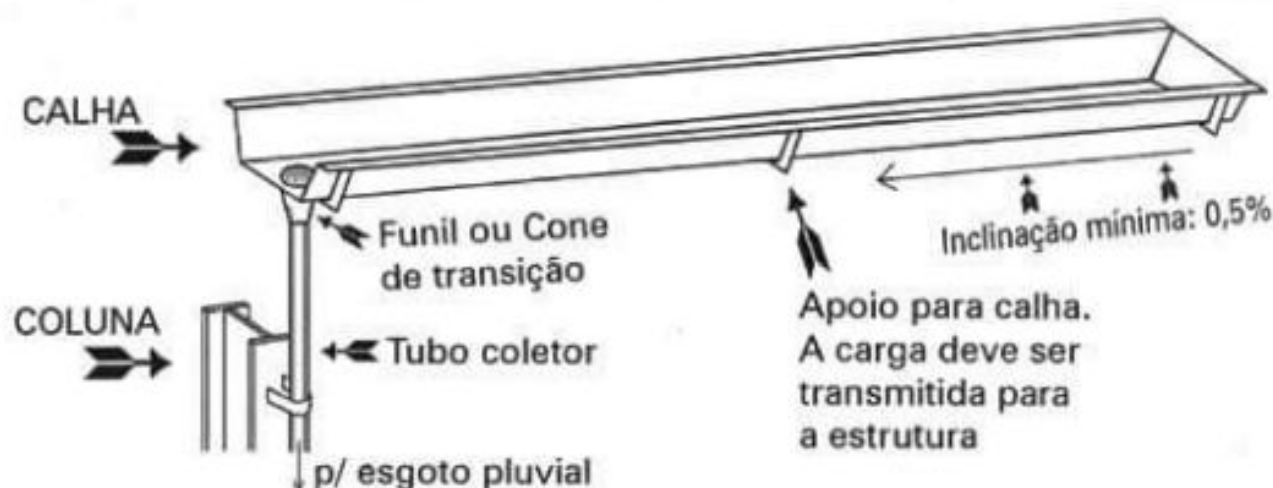
GUARDA CORPO

ESPERAS

PEÇA "D"

PEÇA "B"

2.50

ARQUIBANCADA VISTA POR TRAS

Calhas e Tubos de Descida d'água

As calhas e os tubos de descida de águas pluviais têm a finalidade de escoar a água de chuva que cai sobre a cobertura.

As calhas usualmente empregadas em construções metálicas são fabricadas em chapa galvanizada, dobrada em formas diversas segundo as necessidades do projeto.

As formas de calhas mais usuais são as seções em semicírculo, retangular ou trapezoidal. Os tubos de descida de água são geralmente de seção circular **(Figura 41)**.

As calhas são apoiadas em peças dobradas em forma equivalente à sua, chamadas cambotas, e ligadas com ganchos ou parafusos às terças ou às vigas longitudinais.

Em construções com grandes áreas de telhados ou com exigências mais rigorosas, como edifícios de usinas siderúrgicas, em especial aciarias e lingotamento, são empregadas calhas de maiores dimensões e maior espessura de material. Estas calhas são fabricadas de chapas dobradas a frio ou soldadas, com espessuras de até 8mm, podendo ser autoportantes, isto é, não se apóiam em cambotas, vencendo o vão entre colunas sem apoios intermediários. As calhas desse tipo são projetadas de forma a resistirem aos esforços de uma pessoa que nelas transita para os trabalhos de limpeza. O acesso à cobertura e às calhas é feito através de escadas de marinheiro. Nas calhas de beiral, são colocados guarda-corpos para segurança do pessoal encarregado da limpeza.

As calhas devem possuir o maior caimento compatível com as possibilidades do projeto, de modo que a água da chuva faça a autolimpeza da poeira acumulada. O valor mínimo do caimento deve ser de 0,5%, porém, declividade maior é sempre desejável.

O tubo de descida, quando há grandes áreas de cobertura a se considerar, é ligado à calha através de uma peça afunilada de transição **(Figura 42)**.

Os tubos de descida ficam geralmente localizados na periferia da construção, junto às colunas. Nos casos de descida d'água no interior do edifício, devem ser fornecidos, ao projetista da infra-estrutura, os dados de locação das descidas e a vazão. Em alguns casos, quando não é possível localizar-se a descida de água no interior do edifício, utilizam-se tubos coletores longitudinais, com caimento mínimo da ordem de 5%, que conduzem as águas pluviais até as fachadas.

Figura 41 – **SEÇÕES DE CALHAS**

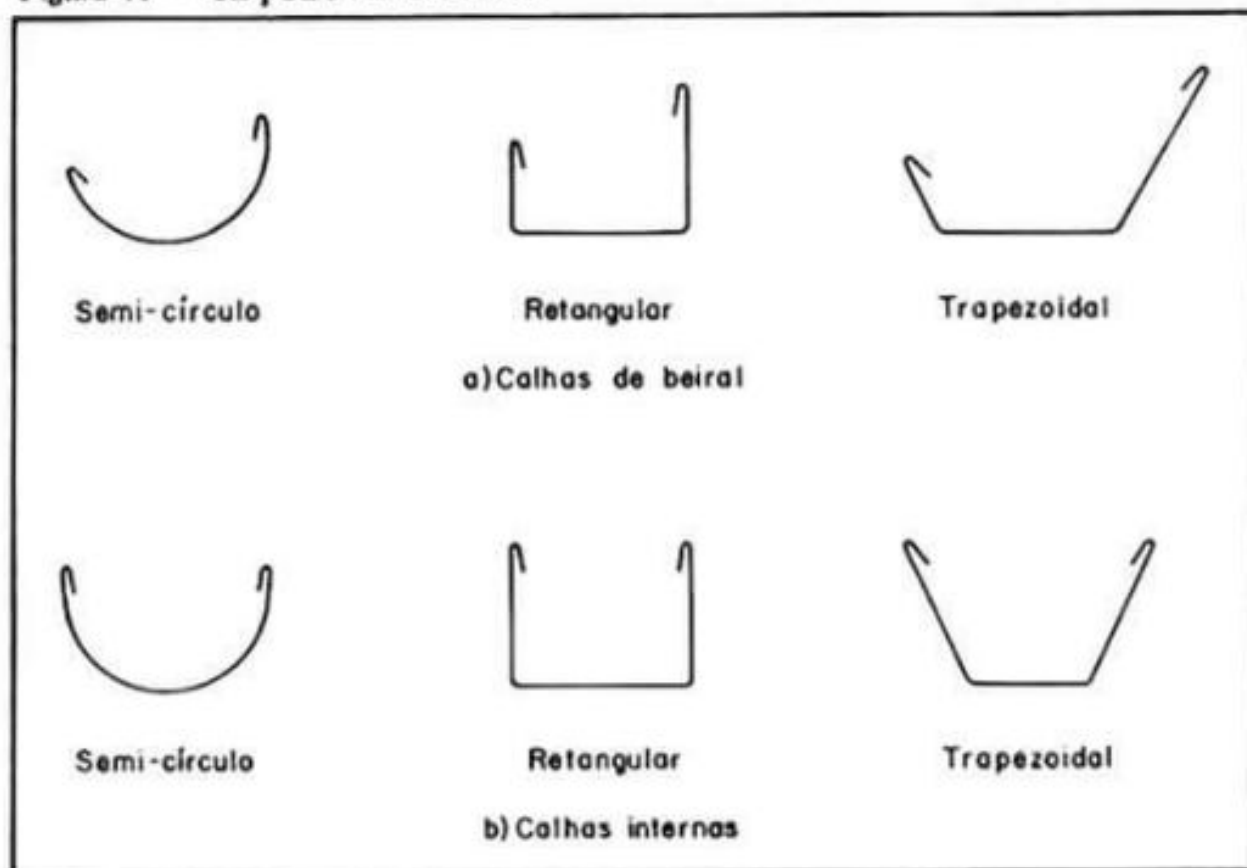
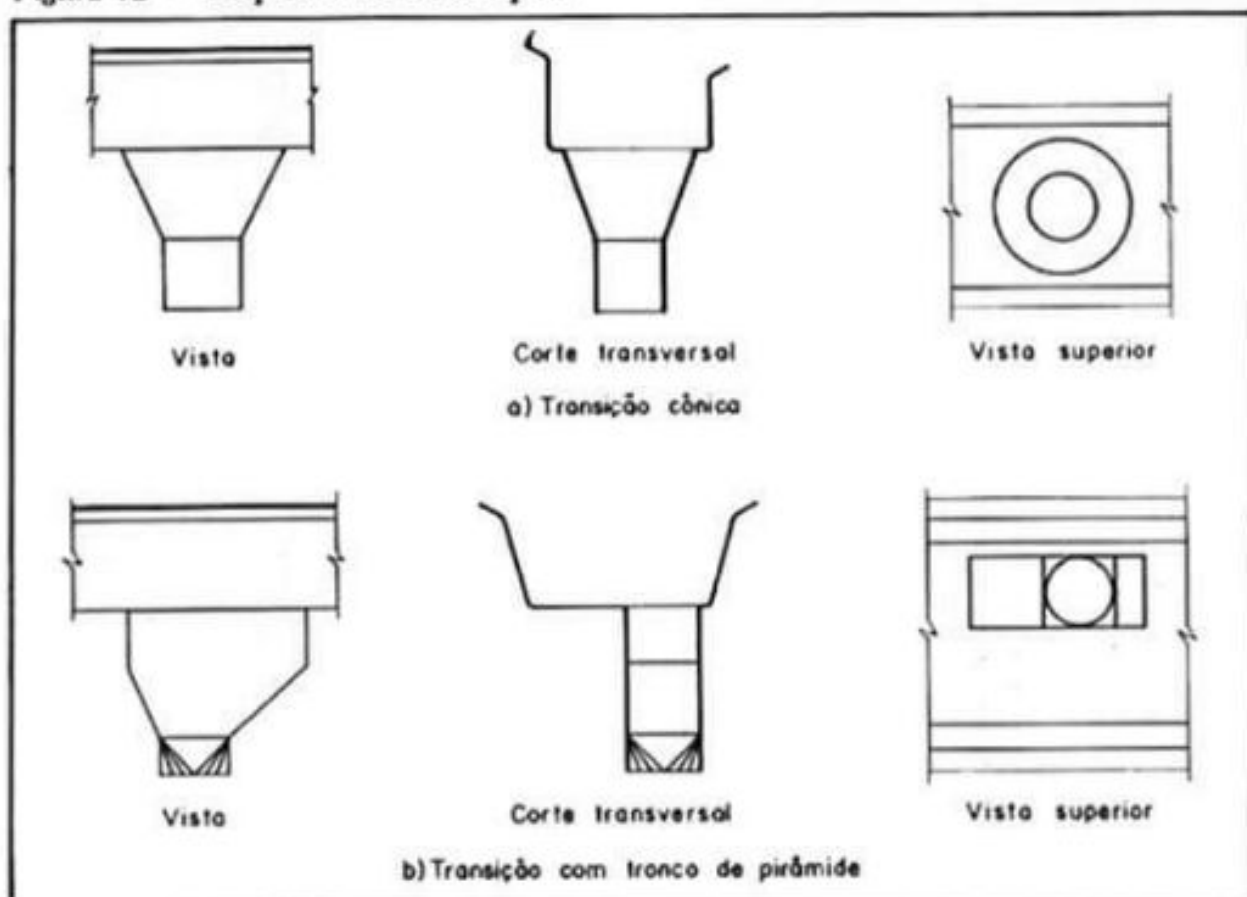



Figura 42 – **PEÇAS DE TRANSIÇÃO**

O dimensionamento das calhas e condutores é normalmente feito por critérios empíricos. Cálculos mais exatos podem ser usados, desde que sejam disponíveis valores estatísticos da precipitação pluviométrica local.

Considera-se no processo empírico, 0,8 a 1,0 centímetros quadrados de seção útil de calha ou tubo de descida d'água para cada metro quadrado de cobertura.

A figura 43 mostra um exemplo de calha e tubo de descida d'água de um galpão com uma grande área coberta.

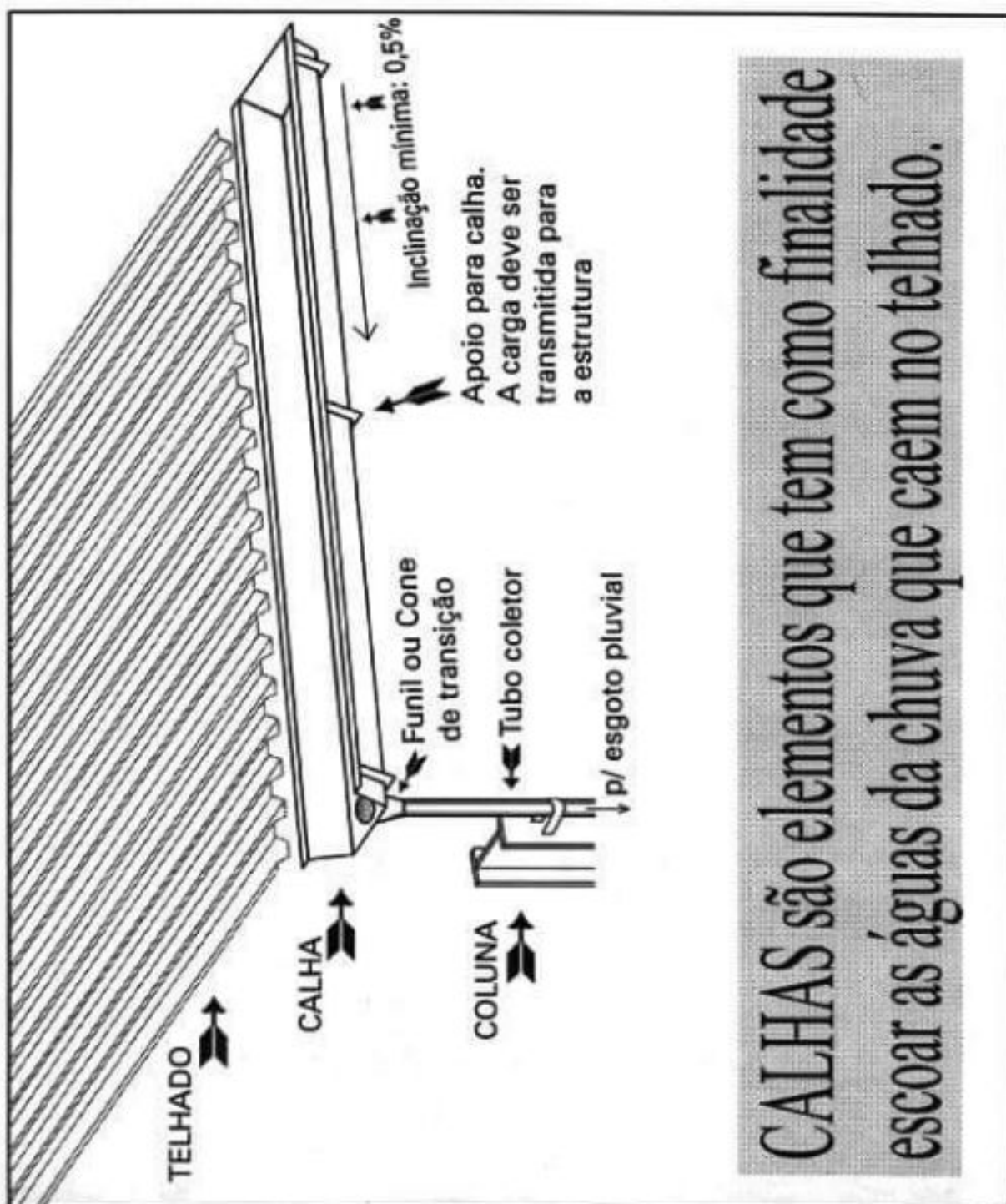



Figura 43 – **TUBO DE DESCIDA DE ÁGUAS PLUVIAIS**